

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra informatiky

**Modelování a simulace dopravy s využitím
specializovaných nástrojů**

**Traffic Modeling and Simulation Based on
Specialized Tools**

2013

Bc. Pavel Bernat

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra informatiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavel Bernat**
Studijní program: N2647 Informační a komunikační technologie
Studijní obor: 2612T025 Informatika a výpočetní technika
Téma: **Modelování a simulace dopravy s využitím specializovaných nástrojů
Traffic Modeling and Simulation Based on Specialized Tools**

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je popis a ověření možností existujících simulačních a modelovacích nástrojů v oblasti dopravy.

1. Zmapujte a popište oblast modelování a simulace dopravy, především z pohledu existujících řešení a nástrojů.
2. Detailně rozveďte možnosti a vlastnosti klíčových vybraných řešení. Zohledněte také možnosti použití vstupních dat, apod.
3. Ve vybraném řešení realizujte základní aktivity simulace a modelování dopravy a toto popište formou návodu.
4. Zhodnoťte možnosti využití vybraného řešení na ukázkové studii, např. oblast města Ostravy.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] F. Mannering: Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis, ISBN: 0470290757, Wiley, 2008
- [2] S. Blatnig: Microscopic Traffic Simulation with Intelligent Agents: Simulation of Human Driving Behaviour, ISBN: 978-3639224153, VDM Verlag Dr. Müller, 2009
- [3] www.jsdi.cz - NDIC, www.cityplan.cz, www.aimsun.com

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Michal Radecký, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012
Datum odevzdání: 07.05.2013



doc. Dr. Ing. Eduard Sojka
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal. Rád bych poděkoval vedoucímu své diplomové práce Ing. Michalu Radeckému, Ph.D. za poskytnutí cenných rad při řešení daného problému.

V Ostravě dne 3.5.2013


.....

Bc. Pavel Bernat

Abstrakt

Tato diplomová práce pojednává o problematice modelování a simulace dopravy, popisuje matematické modely a algoritmy které jsou používány v softwarových produktech zabývajících se touto problematikou. Také popisuje základní softwarová řešení pro modelování simulaci dopravy.

Rovněž obsahuje návod jako pomocí softwaru VISUM vytvořit model dopravního zatížení, v elektronické příloze je přiložen projekt městské části Poruba města Ostravy. Je také uveden návod pro mikrosimulační software VISSIM a jako vzorový příklad je elektronické podobě uveden model křižovatky ulic Sokolská, Muglinovská a Hlučínská ve městě Ostrava.

Klíčová slova

Dopravní modelování, dopravní simulace, AIMSUN, VISUM, VISSIM, software pro dopravní modelování, software pro dopravní simulace, car-following model.

Abstract

This thesis deals with the problems of modeling and simulation of transport describes the mathematical models and algorithms that are used in software products dealing with this issue. It also describes basic software solutions for modeling transport simulation.

It also provides guidance as to create the software VISUM model traffic load in the electronic annex is attached project Poruba district of Ostrava. It also provides guidance for micro-simulation software VISSIM and example of the model of crossroads streets which names Sokolská street, Muglinovská street and Hlučínská.

Key Words

Traffic modeling, traffic simulation, AIMSUN, VISUM, VISSIM, software for traffic modeling, traffic simulation software, car-following model.

Seznam použitých symbolů a zkratek

Δv	$[\text{km} * \text{h}^{-1}]$	relativní rychlost s porovnáním s vedoucím vozidlem,
Δx	$[\text{m}]$	odstup od vedoucího vozidla,
a	$[\text{m} * \text{s}^{-2}]$	zrychlení,
API		Application Programming Interface (Rozhraní pro programování aplikací),
ASC/3		Advanced System Controllers (Systém pro inteligentní řízení dopravy),
ASCII		American Standard Code for Information Interchange (Tabulka definující znaky binární vyjádření znaků),
c	$[-]$	parametr pro kalibraci modelu,
c_1	$[-]$	parametr pro kalibraci modelu,
c_2	$[-]$	parametr pro kalibraci modelu,
CAD		Computer-aided design (počítačem podporovaný projektování),
c_r	$[\text{měna}]$	nákladný na mýtné v trase,
D	$[\text{m}]$	požadovaná vzdálenost vozidel,
d^{max}	$[\text{m} * \text{s}^{-2}]$	maximální možné zpomalení vozidla,
Gap	$[\text{m}]$	mezera mezi vozidly,
GIS		geografický informační systém,
H	$[-]$	hypotetická impedance vozidla,
HAFAS		HaCon Fahrplan-Auskunfts-System (Systém pro správu jízdních řádů),
I	$[-]$	impedance vozidla,
k	$[\text{vozidel/hod/jízdní pruh}]$	hustota dopravního proudu,

k_0	[vozidel/hod/jízdní pruh]	optimální hustota dopravního toku,
k_{\max}	[vozidel/hod/jízdní pruh]	maximální možná hustota vozidel,
l	[-]	parametr pro kalibraci modelu,
m	[-]	parametr pro kalibraci modelu,
MS SQL		Microsoft Structured Query Language (standardizovaný dotazovací jazyk),
n	[-]	pořadí vozidla,
OD matice		origin destination matice (matice ve které jsou uvedeny počty cest z počáteční do cílové oblasti),
PrT		označení pro soukromou dopravu,
PuT		označení pro veřejnou dopravu,
PuTAux		označení pro veřejnou nehromadnou dopravu osob,
PuTWalk		označení pro pěší dopravu,
q	[vozidel/hod/jízdní pruh]	intenzita dopravního proudu,
R	[-]	impedance trasy,
R_{\min}	[-]	minimální impedance v cestě řidiče,
SCATS		Sydney Coordinated Adaptive Traffic System (Systém pro inteligentní řízení dopravy),
SVG		Scalable Vector Graphics (škálovatelná vektorová grafika),
T	[s]	reakční doba řidiče vozidla,
t_r	[s]	čas nutný ke zdolání trasy,
TSS		Transport Simulation Systems,
U	[-]	užitnost trasy,
v	[km * h ⁻¹]	rychlost,
v_0	[km * h ⁻¹]	rychlost vozidla při opt. intenzitě dopravního toku,

v_f	$[\text{km} * \text{h}^{-1}]$	rychlost vozidla na dopravou nezatížené komunikaci,
v_n^t		optimální funkce rychlosti,
VT	$[\text{měna} * \text{h}^{-1}]$	hodnota času řidiče ve finančních jednotkách,
XML		Extensible Markup Language (rozšiřitelný značkovací jazyk,
α	$[-]$	parametr pro kalibraci modelu,
β	$[-]$	parametr pro kalibraci modelu,
γ	$[-]$	parametr pro kalibraci modelu,
ε	$[-]$	popisuje citlivost řidičů na vzrůstající impedanci,
κ	$[-]$	parametr pro kalibraci modelu,
λ	$[-]$	koefficient rozdílnosti reakcí řidiče na podmět,
τ	$[-]$	parametr pro kalibraci modelu.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Modelování a simulace	2
2.1	Modelování	2
2.2	Simulace.....	2
2.3	Základní veličiny dopravního proudu	2
3	Rozdělení modelů podle rozlehlosti modelované sítě.....	4
3.1	Makrosimulační modely.....	4
3.1.1	Greenshioldův lineární model	5
3.1.2	Greenbergův logaritmický model.....	5
3.1.3	Underwoodův exponencionální model.....	6
3.1.4	Modifikovaný Greenbergův model	7
3.1.5	Paynův model.....	8
3.1.6	Kernerův a Konhauserův model.....	9
3.1.7	Multi-regime modely.....	9
3.1.8	Shrnutí.....	10
3.2	Mikroskopické modely.....	11
3.2.1	Car-following model	13
3.2.2	Pipeův model.....	13
3.2.3	General Motors car following model	13
3.2.4	GHR (Gazis – Herman –Rothery) model	14
3.2.5	Lineární model	14
3.2.6	Nagel-Schreckenberg model	16
3.3	Shrnutí.....	18
4	Existující řešení pro dopravní modelování.....	20
4.1	AIMSUN	20
4.1.1	Implementace Car-following modelu v AIMSUN	22
4.2	VISUM.....	22

4.3	VISSIM	24
4.3.1	Dopravní síť	25
4.3.2	Simulace chodců	25
4.3.3	Implementace Car-following modelu.....	25
4.4	Shrnutí.....	26
5	Postup pro realizaci modelu v aplikaci VISUM.....	28
5.1	Prvky modelu dopravní infrastruktury	28
5.1.1	Síťové uzly	29
5.1.2	Síťové spoje.....	30
5.1.3	Turns	31
5.1.4	Zóny	31
5.1.5	Teritoria.....	31
5.1.6	Zastávky veřejné dopravy (Stop points, stop areas, stops).....	31
5.2	Dopravní systémy.....	31
5.3	Impedanční funkce	33
5.4	Postup pro vytvoření dopravního modelu	34
5.4.1	Vytvoření modelu dopravní sítě.....	34
5.4.2	Vytvoření OD matice	38
5.4.3	Blocking back model.....	39
5.5	Algoritmy přiřazování soukromé dopravy	40
5.5.1	Inkrementální přiřazení	41
5.5.2	Rovnovážné přiřazení.....	41
5.5.3	Rovnovážné přiřazení LUCE	43
5.5.4	Rovnovážné přiřazení Lohse	43
5.5.5	Přiřazení s ICA	44
5.5.6	Stochastické přiřazení	46
5.5.7	TRIBUT přiřazení	48
5.5.8	TRIBUT – Lohse přiřazení.....	48
5.5.9	Dynamické uživatelské rovnovážné přiřazení (DUE).....	49
5.5.10	Dynamické stochastické přiřazení.....	50

6	Postup pro realizaci v nástroji VISSIM.....	51
6.1	Dopravní síť	51
6.1.1	Vložení síťových spojů	51
6.2	Tvorba křižovatky	52
6.3	Vložení vstupů vozidel.....	54
6.4	Nastavení parametrů simulace	55
6.5	Parametry vozidel.....	56
6.6	Výstupní data	58
7	Zhodnocení.....	60
8	Závěr	61

1 Úvod

Modelování dopravní sítě za pomoci výpočetní techniky je poměrně nová oborová disciplína, u nás známa až od 80. let 20. století. Výpočetní technika nám dovolí, mimo samotnou simulaci dopravy, zabývat se i jinými doprovodnými jevy dopravy, například simulaci hlukového zatížení obyvatel. V současné době jsou tyto simulace čím dál častěji požadovány zadavateli projektů dopravních staveb. Značnou výhodou je možnosti ověření několika variant dopravní stavby a následné vybrání nejlepší varianty. Bez nutnosti stavebně tuto variantu vybudovat a poté budovat jinou. Je možné hledat problémová místa, v již existujících stavbách, posouzení vlivu na životní prostředí nebo zvýšení bezpečnosti začleněním únikových cest.

Nevýhodou simulací za pomoci výpočetní techniky je důležitá velká přesnost vstupních dat. Většinou se stává, že velká pozornost je věnována geometrickému modelu dopravní sítě, ale nikoliv již výběru vstupních dat.

První modely dopravní sítě, ještě bez použití výpočetní techniky, vycházely z podobnosti s prouděním tekutiny. Rovněž jako u tekutiny protékající trubkou, kapalina, která na jednom konci vtéká, musí i na druhém konci vytéct. Stejně i jako při průtoku kapaliny potrubím o ostrých hranách (turbulentní proudění), vznikají na silnici o malém poloměru zatáček problémy. Tyto modely se řadí mezi modely makroskopické, nechápou vozidla jako jednotlivé pohybující se objekty, ale počítají s proudy vozidel a křižovatky jsou chápány jako dopravní uzly, ale nejsou přesněji modelovány.

Výpočetní technika nám umožnila simulovat dopravu na malých úsecích v mnohem detailnějším pohledu, na tzv. mikroskopické úrovni, kde již jsou jednotlivá vozidla chápána jako samostatné objekty a křižovatky jsou modelovány detailněji (počty jízdních pruhů jednotlivými směry). Vstupními informacemi pro tyto modely jsou data o rychlosti a směru jednotlivých vozidel, zrychlení a zpomalení vozidel.

U modelů makroskopických modelovaných výpočetní technikou, dostáváme ovšem spolehlivější údaje v hromadných výsledcích, jako jsou hustoty nebo rychlosti dopravních proudů.

2 Modelování a simulace

Dopravní modelování a simulace se využívají k znázornění aktuálního dopravního zatížení jednotlivých komunikací a k návrhu nových dopravních spojení. Za pomoci dopravních modelů a simulací, lze zjistit dopravní zatížení při realizaci různých variant úprav dopravní sítě. To vede k úspoře nákladů a vybrání nejvhodnějšího řešení. [1]

Podle rozsahu zkoumané dopravní sítě, lze dopravní modely rozdělit na:

- Makroskopické modely,
- mesoskopické modely,
- mikroskopické modely.

Pod pojmem modelování se jedná o dva základní pojmy a to:

- Modelování,
- simulace.

2.1 Modelování

Dopravní model je matematicky popsané řešení problému. Výsledky modelu bývá numerický výstup. Modelování se využívá zejména u rozsáhlých modelů a vysoké míry zobecnění, tzn. není třeba modelovat velké množství parametrů, které by měly za následek vysokou časovou náročnost výpočtu.[2]

2.2 Simulace

Dopravní simulace je spojení jednotlivých dopravních modelů do jednoho celku, ve kterém jednotlivé modely interagují mezi sebou. Výstupem jsou jak numerické hodnoty, tak i animace pohybu jednotlivých vozidel, ze které je možné vypožorovat dopravní jevy (například jako je tvorba kolon a její příčiny). Dopravní simulace se využívají pro malé části dopravní sítě, neboť je zapotřebí zpracovávat velké množství parametrů, které by pro velký simulační model značně zpomalovaly výpočet. [2]

2.3 Základní veličiny dopravního proudu

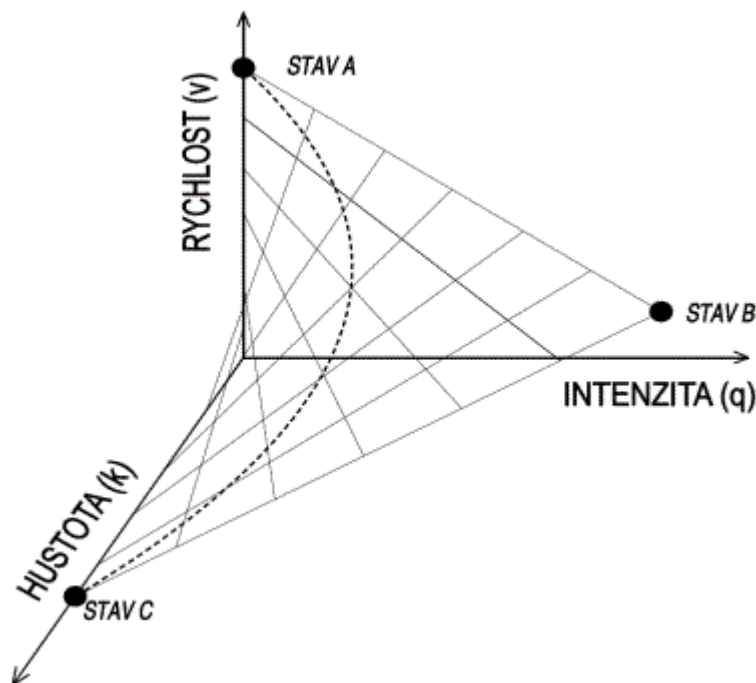
Základem dopravních modelů je dvojrozměrné vyjádření vztahu mezi rychlostí a hustotou dopravního proudu, kde rychlost dopravního proudu je nepřímo závislá na jeho hustotě. [3]

Tedy především na vztahu:

$$q = v * k \tag{2.1}$$

Kde q je intenzita dopravního toku, udávána ve vozidlech za hodinu v jednom jízdním pruhu, v je rychlost vozidel udávaná v kilometrech za hodinu a k je hustota dopravního proudu udávaná ve vozidlech za hodinu v jednom jízdním pruhu. [3]

Tento vztah je možné vyjádřit i graficky a to třídimenčním grafem, na jehož osách vynášíme hodnoty intenzity, rychlosti a hustoty dopravního toku. [3]



Obrázek 2.1: Graf závislostí základních veličin dopravního proudu. [1]

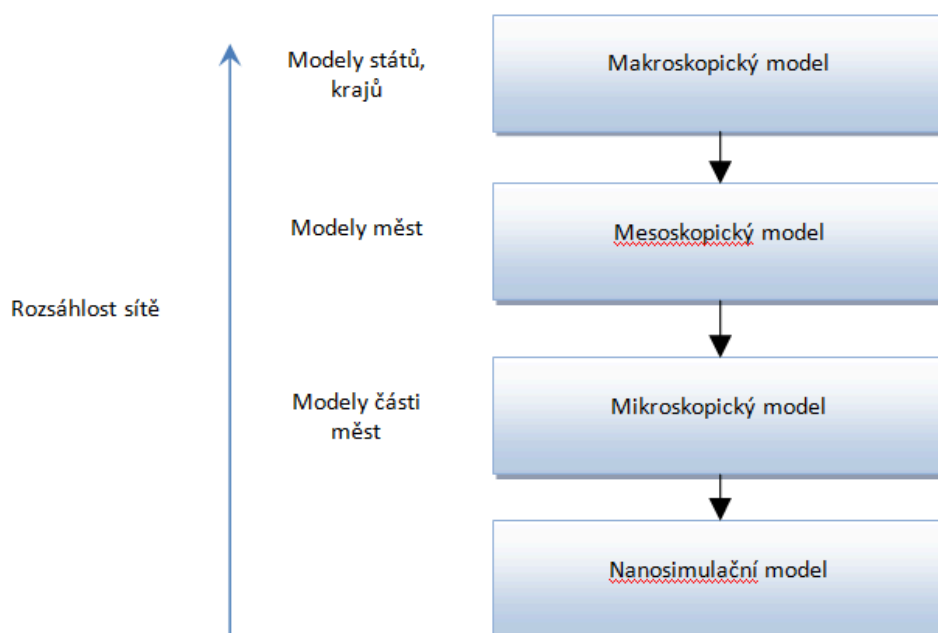
Z obrázku 2.1 lze odečíst několik základních stavů dopravního proudu a to: [1]

- Stav A – v tomto bodě je nejvyšší rychlost dopravního proudu a nejmenší hustota.
- Stav B – v této situaci je intenzita a hustota dopravního toku maximální.
- Stav C – při tomto stavu se rychlost dopravního proudu a jeho intenzita blíží 0 a dochází k dopravní kongesci.

Mimo tento základní vztah je dopravní proud závislý na mnoha dalších parametrech, jako jsou stav a typ vozidla, osobnost vlastnosti řidiče, denní doba, den v týdnu, počasí, okamžitý stav komunikace a různé náhodné jevy. [3]

3 Rozdělení modelů podle rozlehlosti modelované sítě

Nelze nalézt jeden univerzální dopravní model, a to z důvodů, že každý model je vhodný pro modelování jiných situací. Každý model se liší rozsahem modelovaných detailů a z toho vyplývající i jeho výpočetní náročností. Větší modely (marko a meso) zobecňují chování vozidel a zanedbávají detaily jejich pohybu, naproti tomu menší modely (mikro a nano) berou v úvahu chování každého jednotlivého řidiče, s parametry jeho vozidla a také zohledňují lidské faktory (např. reakční doba).



Obrázek 3.1: Hierarchie modelů podle jejich rozsáhlosti.

3.1 Makrosimulační modely

Makrosimulační modely jsou využívány k modelování rozsáhlých dopravních sítí a jsou využívány za účelem prognózy dopravních toků v budoucnosti. Při konstrukci tohoto modelu je nutné shromáždit velké množství vstupních dat, jako jsou využití jednotlivých ploch v okolí dopravní sítě, které jsou zdrojem dopravní nabídky či poptávky (například zda se jedná o plochu využívanou k účelu bydlení, nebo nákupní zónu nebo průmyslovou zónu). Z těchto dat se vytvářejí tzv. OD matice (matice znázorňující počet cest mezi jednotlivými oblastmi) a *skim* matice (popisují vlastnosti počáteční zóny vzhledem k cílové zóně v dopravním modelu, jsou extrahovány z vlastností cest z počáteční do koncové matice, tyto data jsou pak spojena s podílem poptávky, která dané cestě náleží). Tvorba takových modelů může trvat i několik let. [1]

Makroskopické modely využívají jen základní vlastnosti dopravního proudu, jako je rychlost, intenzita a hustota a zanedbávají parametry, jako jsou individuální parametry každého vozidla, individuální chování řidiče.

Výstupními parametry těchto modelů je distribuce dopravního zatížení na jednotlivé komunikace, identifikace dopravních kongescí. Toto se využívá při identifikaci kritických míst v dopravní síti, analýzu stávající dopravní sítě a nalezení návrhů pro její úpravu. Některé softwarové prostředky disponují funkcemi pro analýzu vlivu dopravního zatížení na znečištění (hlukové tak i emisní). [1]

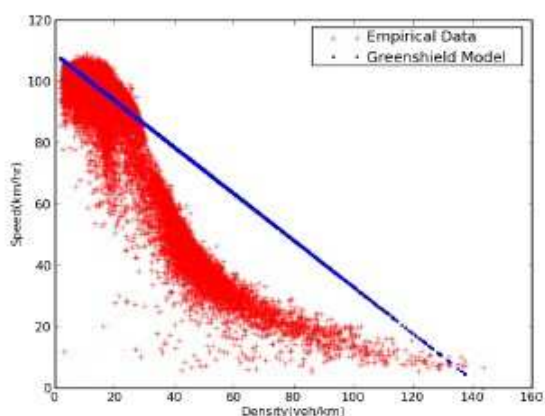
3.1.1 Greenshieldův lineární model

Model je popisován jako lineární závislost mezi rychlostí dopravního proudu a jeho hustotou. Jedná se o nejjednodušší model, který předpokládá stejnou rychlost vozidel a homogenní hustotu dopravního proudu. Lineární závislost je popsána vzorcem: [3]

$$v = v_f * \left(1 - \frac{k}{k_{max}}\right) \quad (3.1)$$

Kde v je aktuální rychlost vozidla, v_f je rychlost vozidla na dopravu nezatížené komunikaci, k je aktuální hustota a k_{max} je maximální možná hustota (tj. hustota při dopravní zácpě).

Greenshieldův lineární model se odchyluje od reality především při nízkých hodnotách dopravních hustot. Je to způsobeno tím, že vozidla s velkými vzájemnými odstupy neovlivňují své chování. [3]



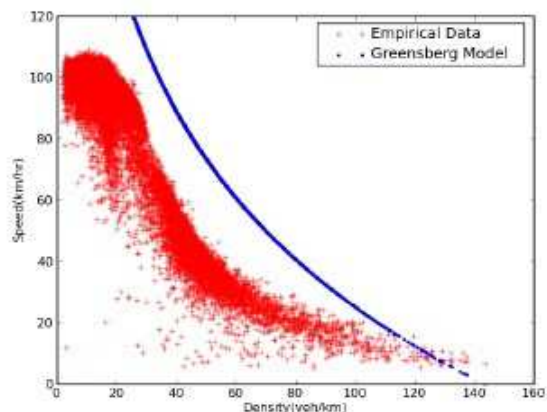
Obrázek 3.2: Porovnání Greenshieldova lineárního modelu s empirickými daty. [4]

3.1.2 Greenbergův logaritmický model

Tento model vykazuje oproti Greenshieldovu lineárnímu modelu lepší shodu s měřenými daty. Vztah mezi rychlostí a hustotou je vyjádřen vzorcem: [1]

$$v = v_0 * \ln\left(\frac{k}{k_{max}}\right) \quad (3.2)$$

Kde v je aktuální rychlost vozidla, v_0 je rychlost vozidla při optimální intenzitě dopravního toku, k je hustota vozidel a k_{max} je maximální možná hustota vozidel (tj. dosahovaná při dopravní zácpě). [1]



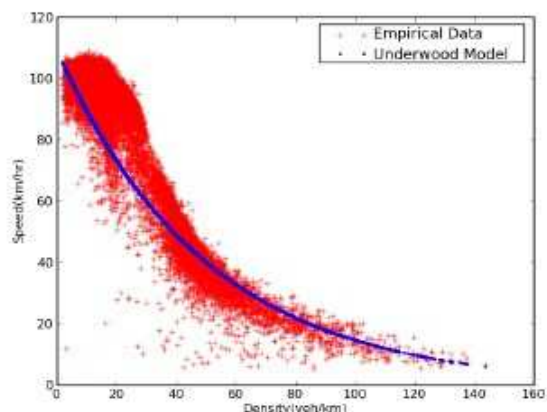
Obrázek 3.3: Porovnání Greenbergova logaritmického modelu s empirickými daty. [4]

3.1.3 Underwoodův exponenciální model

Tento model řeší nedostatky modelů předešlých a to problém s výpočty při malé hustotě vozidel. Ale z podstaty modelu vyplývá jeho nedostatek a, to situace, kdy je hodnota dopravního toku velmi vysoká (při těchto hodnotách je model poměrně nepřesný a hodnota nulové rychlosti by byla dosažena až při nekonečné dopravní hustotě). Vztah mezi hustotou a rychlostí je vyjádřen exponenciální funkcí: [1]

$$v = v_f * e^{\frac{-k}{k_0}} \quad (3.3)$$

Kde v je aktuální rychlost vozidla, v_f je rychlost na dopravou nezatížené komunikaci, k je aktuální hustota dopravního toku a k_0 je optimální hustota dopravního toku (tj. maximální možná hustota při ještě přijatelné rychlosti dopravního toku). [1]



Obrázek 3.4: Porovnání Underwoodova modelu s empirickými daty. [4]

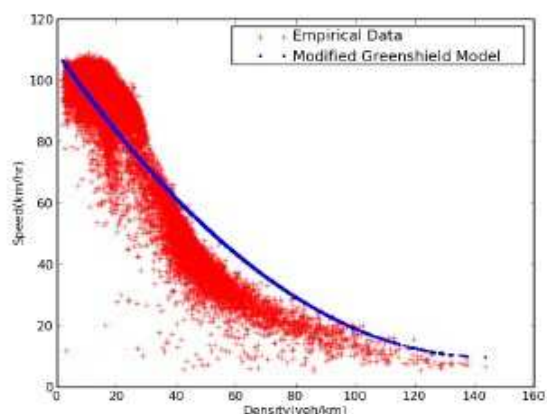
Obecně platí, že tento model se více přibližuje reálným datům, než modely předešlé, a to proto, že při dlouhodobém pozorování (týdny nebo měsíce) se reálná data začínají podobat spíše exponenciální funkci, než funkci lineární nebo logaritmické. [4]

3.1.4 Modifikovaný Greenbergův model

Funkce pro modifikovaný Greenbergův model je dána: [4]

$$v = v_0 + (v_f - v_0) * \left(1 - \frac{k}{k_{max}}\right)^\alpha \quad (3.4)$$

Kde v_0 je rychlost při optimální intenzitě dopravního toku, v_f je rychlost na dopravou nezatížené komunikaci, k_{max} je maximální hustota dopravního toku (tj. při dopravní zácpě) a α je uživatelsky definovaný parametr. Tento model se vyskytuje ve dvou variantách, a to ve variantě *two regime*, kde je v rychlost na dopravou nezatížené komunikaci a druhá varianta je specifikována pro rychlost v na dopravou přetížené komunikaci. [4]



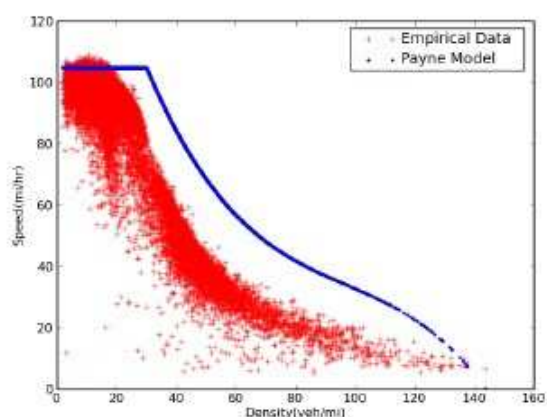
Obrázek 3.5: Porovnání modifikovaného Greenbergova modelu s empirickými daty pro $\alpha = 2$. [4]

3.1.5 Paynov model

Tento model určuje křivku hustoty dopravního toku danou tímto výrazem: [4]

$$v = \min \left\{ 88,5; 88,5 \left[1,94 - 6 \left(\frac{k}{143} \right) + 8 \left(\frac{k}{143} \right)^2 - 3,93 \left(\frac{k}{143} \right)^3 \right] \right\} \quad (3.5)$$

Kde v je rychlost dopravního toku a k je hustota provozu vozidel v dopravním toku. Tento model je používán především pro simulace. Je využíván pro účely simulace a funguje jako modifikovaný Greenbergův model ve variantě, kde v_r je rychlost vozidel na přetížené komunikaci. [4]



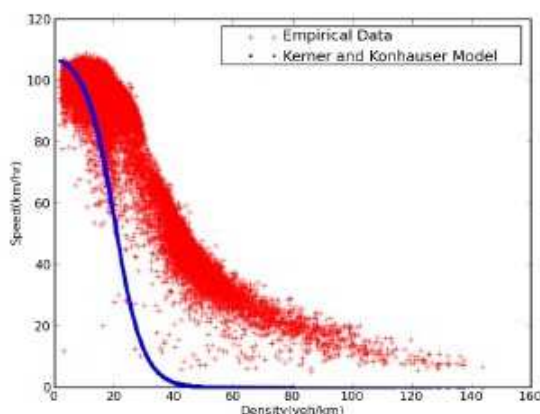
Obrázek 3.6: Porovnání Paynova modelu s empirickými daty. [4]

3.1.6 Kernerův a Konhauserův model

Kernerův a Konhauserův model využívá vztah rychlosti a hustoty k výpočtovým zkouškám pro hromadné následky v homogenním dopravním toku. Je definován tímto výrazem: [4]

$$v = v_f * \left(\frac{1}{1 + \exp\left(\frac{\frac{k}{km} - 0,25}{0,06}\right)} - 3,72 * 10^{-6} \right) \quad (3.6)$$

Podle obrázku 3.7 tento model příliš neodpovídá empirickým datům. [4]



Obrázek 3.7: Porovnání Kernerova a Konhauserova modelu s empirickými daty. [4]

3.1.7 Multi-regime modely

Složitější *multi-regime* modely zahrnují obvykle dvě až tři matematické vyjádření. Základní myšlenkou těchto modelů je využití dvou různých funkcí pro modelování, při nízké hodnotě hustoty dopravního toku a pro modelování vyšších hodnot hustoty dopravního toku. Tyto modely se ovšem vyznačují složitější matematickou konstrukcí. [4]

Edie model je kombinací modelů Underwoodova, pro režim malé hustoty dopravního toku a Greenshioldova modelu pro vysoké hodnoty hustoty dopravního toku. Porovnání hodnot modelů a empirických dat jsou znázorněny na obrázku 3.8. [4]

Matematické vyjádření *Edie* modelů je:

$$v = 54,9e^{-\frac{k}{163,9}} (k \leq 50), v = 26,8 \ln\left(\frac{162,5}{k}\right) (k \geq 50) \quad (3.7)$$

Rovnice pro *two-regime model* je:

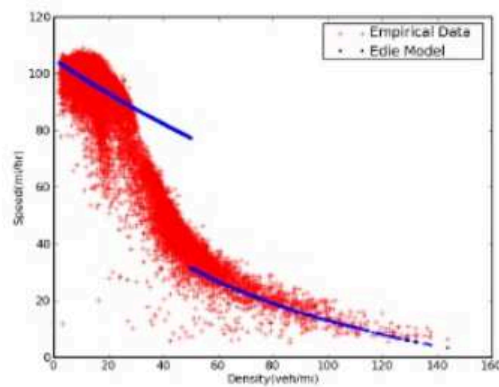
$$v = 60,9 - 0,515k (k \leq 65), v = 40 - 0,265k (k \geq 65) \quad (3.8)$$

Rovnice modifikovaného *two-regime* Greenbergova modelu je:

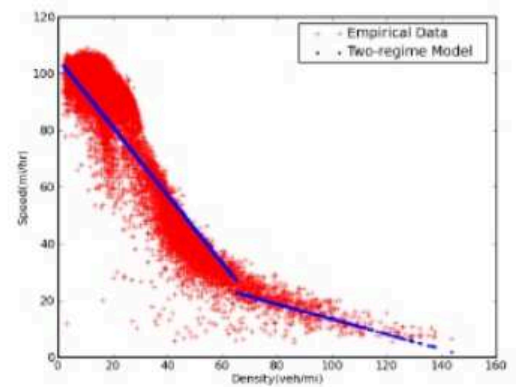
$$v = 48(k \leq 35), v = 32 \ln\left(\frac{145,5}{k}\right) (k \geq 35) \quad (3.9)$$

Matematický vyjádření pro model *Tree-regime linear* model je dán vztahem:

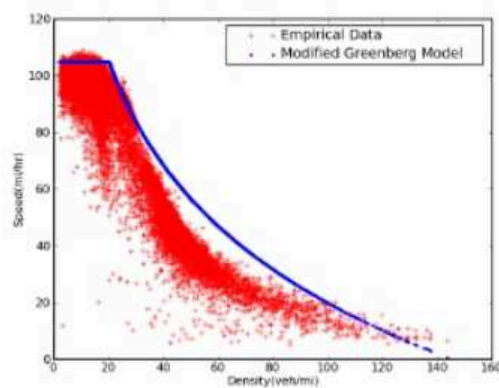
$$v = 50 - 0,098k (k \leq 40), v = 81,4 - 0,913k (40 \leq k \leq 65), v = 40 - 0,265k (k \geq 65) \quad (3.10)$$



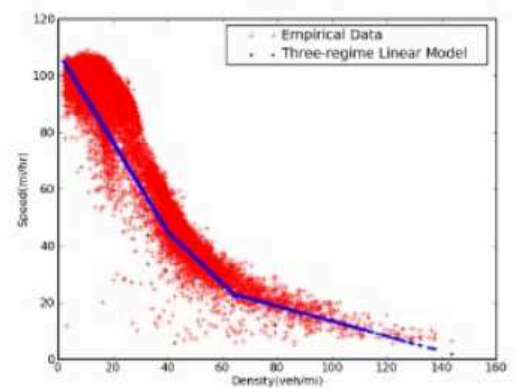
(a) Edie model



(b) Two-regime model



(c) Modified Greenberg model

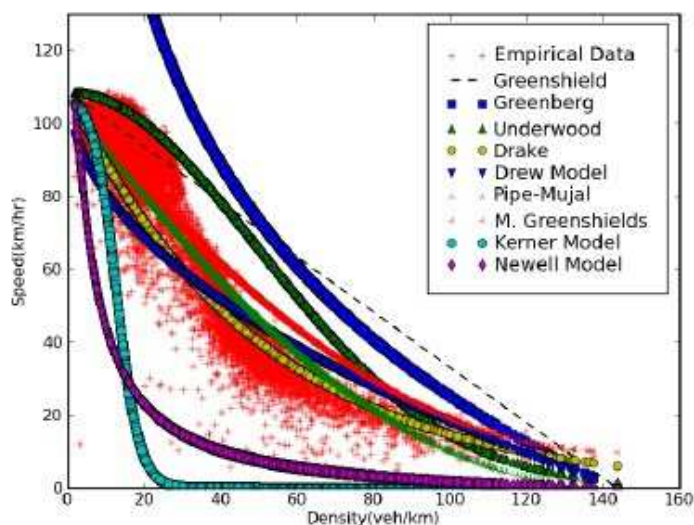


(d) Three-regime model

Obrázek 3.8: Porovnání multi-regime modelů s empirickými daty. [4]

3.1.8 Shrnutí

Modely využívající závislost rychlosti na hustotě dopravního toku, popisují průměrné chování závislé proměnné na daných vstupech. K jejich přednostem patří matematická jednoduchost. Mezi nevýhody těchto modelů se řadí empirická nepřesnost a neschopnost vysvětlit pozorovaný jev. Porovnání jednotlivých modelů znázorňuje obrázek 3.9. [4]



Obrázek 3.9: Porovnání všech výše zmíněných modelů s empirickými daty. [4]

3.2 Mikroskopické modely

Mikroskopické modely berou v úvahu chování každého jednotlivého řidiče, přičemž zohledňují parametry infrastruktury, po které se pohybuje i parametry dopravních prostředků.

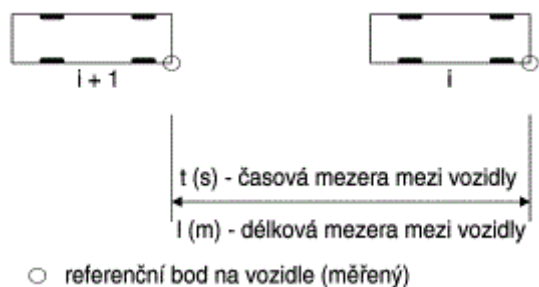
Vstupní data těchto modelů jsou přesný geometrický popis tvaru prostředí (tvar komunikace, její rozdělení na jednotlivé jízdní pruhy). U vozidel se berou v úvahu údaje o jejich rychlosti (maximální rychlost, hodnota zrychlení), hmotnost vozidla a výkon motoru. Vstupní údaje tvoří také charakteristika řidičů a ostatní účastníků silničního provozu (chodci, cyklisté). V úvahu musí být také brány údaje o zatížení dopravní sítě (celková intenzita dopravy, podíl nákladních vozidel v dopravním proudu, časová mezera mezi vozidly, délková mezera mezi vozidly). [1]

Výstupem jsou data, která mohou být zjištěna i v rámci dopravních výzkumů, jako je kapacita komunikací a křižovatek, doba zdržení, délka fronty vozidel čekající např. před křižovatkou, průměrné rychlosti. [1]

Další kategorií výstupních dat mohou být údaje o vlivu dopravy na životní prostředí, hlukové studie, simulace provozu mýtných bran nebo simulace provozu vozidel hromadné dopravy. [1]

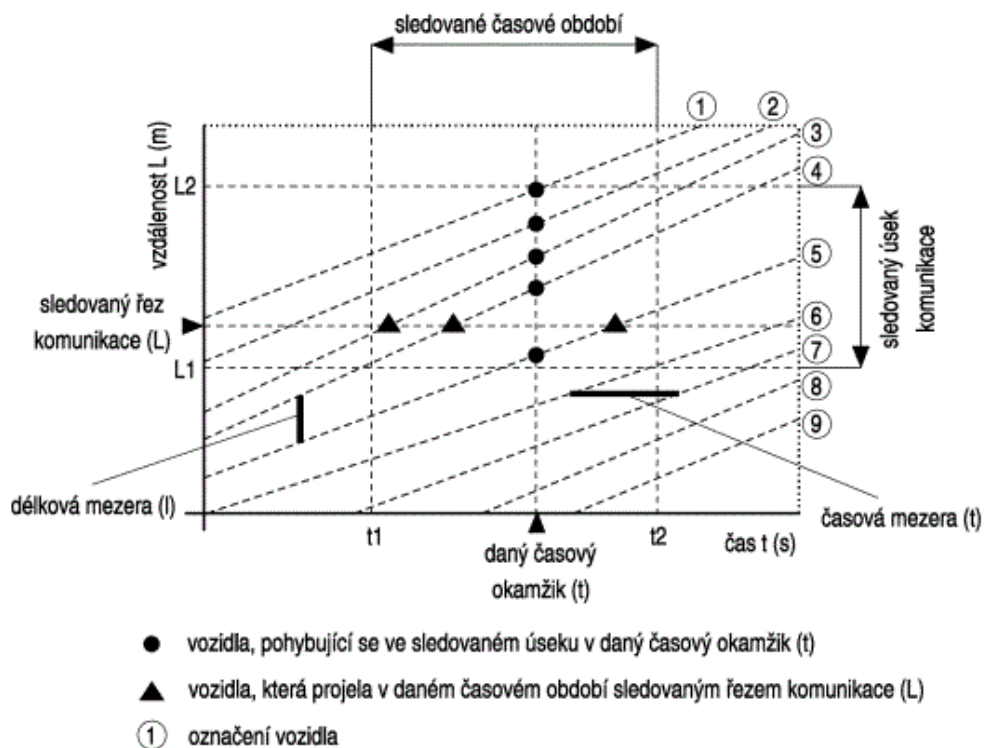
Základními vstupními hodnotami mikroskopických modelů jsou:

- Časová mezera mezi vozidly,
- délková mezera mezi vozidly.



Obrázek 3.10: Způsob měření časové a délkové mezery mezi vozidly. [1]

Tyto hodnoty se zaznamenávají do diagramů dráha-čas (viz obrázek 3.11), z nich lze pak odvodit ostatní charakteristiky, jako jsou průměrné časové mezery, průměrné délkové mezery, střední bodová rychlost, intenzita a hustota dopravního toku. [1]



Obrázek 3.11: Diagram dráha-čas. [1]

3.2.1 Car-following model

Car-following model je nejrozšířenější typ mikrosimulačního modelu a tvoří základ pro ostatní mikrosimulační modely, které jej obohacují o další vlastnosti. Tento model popisuje pohyb a chování n -tého vozidla v závislosti na vozidle předcházejícím. [1]

Tyto modely byly formulovány tak, aby popisovaly, jak řidič reaguje na změny v relativní vzdálenosti od vozidla před ním. [5]

Modely jsou popsány tímto matematickým vztahem:

$$\frac{d^2x_{n+1}(t+T)}{dt^2} = \lambda * \left(\frac{dx_n(t)}{dt} - \frac{dx_{n+1}(t)}{dt} \right) \quad (3.11)$$

Kde n označuje pořadí vedoucího vozidla, $n+1$ označuje vozidlo následující vedoucí vozidlo, T je reakční doba řidiče a λ koeficient rozdílnosti reakcí řidiče na podmět. [6]

Lokální hustotu dopravního proudu lze definovat vztahem:

$$x_{n-1}(t) - x_n(t) = \frac{1}{k} \quad (3.12)$$

3.2.2 Pipeův model

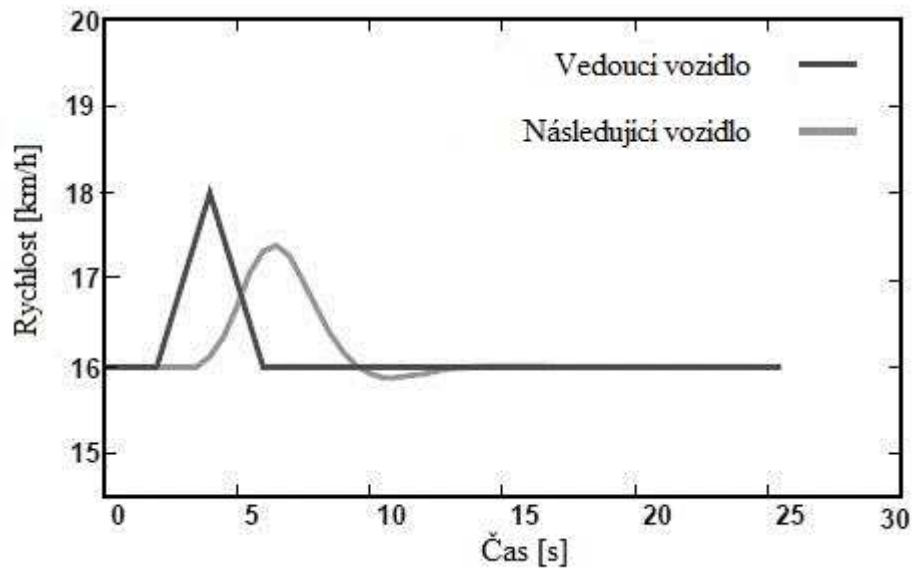
Tento model je odvozen od *car-following* modelu a zavádí další pravidlo, že následování vozidla v bezpečné vzdálenosti, která činí jednu délku vozidla na každých 10km/h rychlosti vozidel. Tento model je nepřesný v malých rychlostech, kdy modelujeme vzdálenosti mezi vozidly menší než ve skutečnosti. [5]

3.2.3 General Motors car following model

Koncept tohoto modelu je založen na tom, že každý řidič se snaží dosáhnout optimální rychlosti, na základě rozestupu mezi vozidly a rozdílu rychlosti mezi vozidly. Formulace je založena na předpokladu, že požadovaná rychlost závisí na vzdálenosti k n -tému vozidlu, kde v_n^t je optimální funkce rychlosti, která závisí na okamžité vzdálenosti k jistému Δx_n^t . Proto je a_n^t dáno vztahem: [5]

$$a_n^t = \left(\frac{1}{\tau} \right) * (v^{opt}(\Delta x_n^t) - v_n^t) \quad (3.13)$$

Kde $1/\tau$ se nazývá koeficient senzitivity. Ve stručnosti řečeno je strategie řízení vozidla taková, že se snaží udržovat bezpečnou rychlost, která závisí spíše na relativní poloze, než na relativní rychlosti. [17]



Obrázek 3.12: Vývoj rychlosti vedoucího a následujícího vozidla podle General Motor car following modelu. [5]

3.2.4 GHR (Gazis – Herman –Rothery) model

GHR model je někdy nazýván jako zobecnění *car-following* modelu. Jeho základní vztah zní: [1]

$$a_i(t) = c * v_i^m(t) \frac{\Delta v(t-T)}{\Delta x^l(t-T)} \quad (3.14)$$

Kde a_i je zrychlení i -tého vozidla, v_i je rychlost i -tého vozidla, Δv je relativní rychlost v porovnání s vedoucím vozidlem, Δx je odstup od vedoucího vozidla, t je sledovaný čas, T je reakční doba řidiče a m , c a l jsou parametry, které musí být kalibrovány pro každý modelovaný systém. [1]

Nutnost kalibrace tří parametru modelu je jeho hlavní slabinou. Nalezení těchto parametrů může znamenat provedení celé řady měření a průzkumů. [1]

3.2.5 Lineární model

Lineární model vychází z modelu GHR, je ovšem doplněn o vztahy mezi zrychlením a rychlostí následujícího vozidla, vzdáleností mezi prvním a následujícím vozidlem, relativní vzdáleností a rychlostí mezi prvním a následujícím vozidlem.

$$a_i(t) = c_1 \Delta v(t-T) + c_2 [\Delta x(t-T) - D_i(t)] \quad (3.15)$$

$$D_i(t) = \alpha + \beta v(t-T) + \gamma a_i(t-T) \quad (3.16)$$

Kde $a_i(t)$ je zrychlení i -tého vozidla, D_i je požadovaná vzdálenost vozidel, v je rychlost i -tého vozidla, Δv je relativní rychlost ve vztahu k vedoucímu vozidlu, Δx je relativní vzdálenost od vedoucího vozidla, t je sledovaný čas, T je reakční doba řidiče a α , β , γ , c_1 a c_2 jsou parametry, které musí být kalibrovány pro každou síť. [1]

3.2.5.1 Wiedemannův model

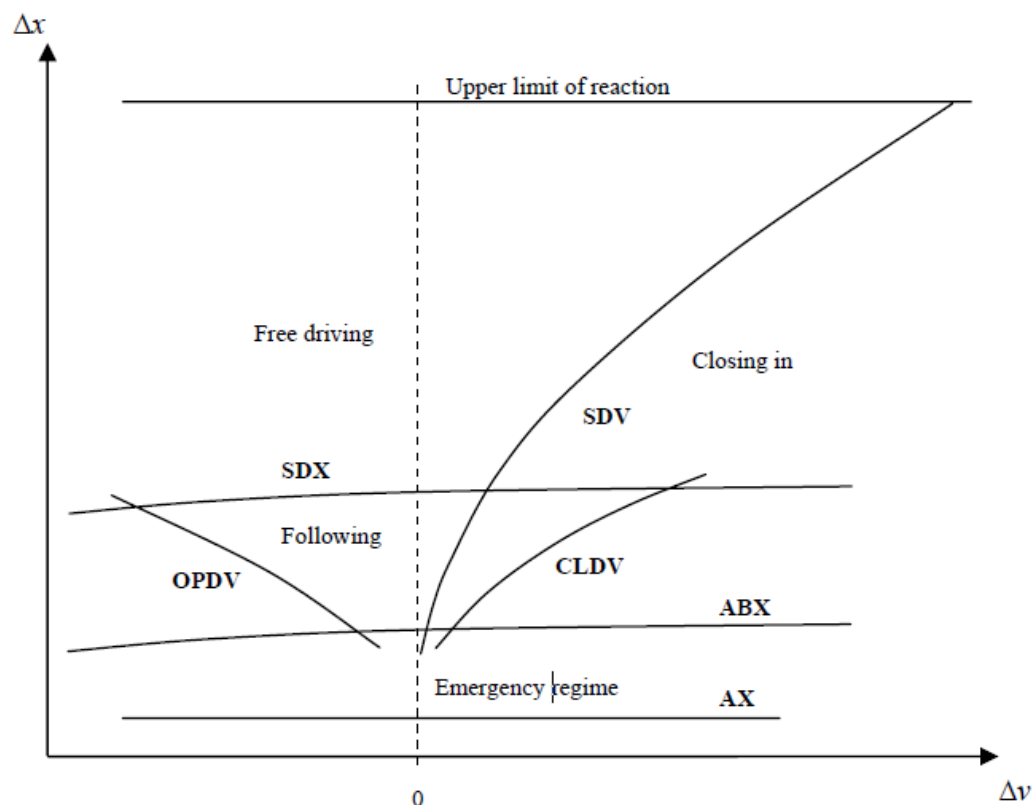
Weidemannův model spadá do skupiny psycho-fyzikálních modelů kombinující psychologické aspekty a fyziologické omezení řidičova vnímání. Předpokládá, že řidič provede určitou akci, pokud je dosaženo určité hranice (např. hraniční hodnota zrychlení, hraniční hodnota vzdálenosti mezi vozidly). [17]

Weidemannův model využívá generátor náhodných čísel pro modelování heterogenního dopravního toku. Jednotlivá náhodná čísla jsou určeny pro simulaci chování jednotlivých řidičů. [8]

Tento model existuje ve dvou variantách. První varianta je Wiedemann 74, které má uživatelsky definované parametry, a to průměrnou vzdálenost mezi stojícími vozidly, přidaná vzdálenost k bezpečné vzdálenosti mezi vozidly. [17]

Varianta modelu Wiedemann 99 je novější verze modelu a disponuje deseti uživatelsky definovatelnými parametry, označovanými jako CC0 až CC9: [17]

- **CC0** – Vzdálenost mezi stojícími vozidly.
- **CC1** – Časová vzdálenost v sekundách mezi vozidly, kterou chce řidič udržovat.
- **CC2** – Určuje, o kolik větší vzdálenost než je vzdálenost bezpečná, má řidič udržovat před vedoucím vozidlem, než se začne přizpůsobovat jeho rychlosti.
- **CC3** – Hodnota řídící start zpomalovacího procesu, tj. kdy řidič rozpozná, že vozidlo před ním zpomaluje.
- **CC4 a CC5** – Tyto hodnoty definují citlivost reakcí řidičů na změny rychlosti vedoucího vozidla.
- **CC6** – Popisuje vliv vzdálenosti na oscilaci rychlosti při procesu udržování rychlosti s vedoucím vozidlem.
- **CC7** – Hodnota zrychlení při oscilaci rychlosti, při procesu udržování rychlosti s vedoucím vozidlem.
- **CC8** – Definuje zrychlení vozidla z klidového stavu.
- **CC9** – Požadované zrychlení na hodnotu 80km/h.



Obrázek 3.13: Znázornění mezních hodnot režimů pro Wiedemannův model. [7]

Obrázek 4.4 popisuje rozložení různých režimů Wiedemannova modelu, jedná se o tyto režimy:

- **Režim AX** – Definuje vzdálenost mezi stojícími vozidly.
- **Režim ABX** – Definuje vzdálenost mezi vozidly při malých rychlostech.
- **Režim SDX** – V tomto režimu je mezi vozidly maximální vzdálenost, ta se pohybuje mezi 1,5 až 2,5 násobkem minimální vzdálenosti (ABX).
- **Režim SDV** – Tento režim se používá pro definici místa, kde si řidič všimne, že se blíží pomalejší vozidlo.
- **Režim CLDV** – Zajišťuje zmenšení rozdílu rychlostí mezi následujícími vozidly.
- **Režim OPDV** – Hranice tohoto režimu znázorňuje místo, kde se řidič všimne, že jeho vozidlo jede pomaleji, než vozidlo před ním. [8]

3.2.6 Nagel-Schreckenberg model

Nagel-Schreckenbergův model je model spadající do skupiny modelů využívajících celulární automaty. Je to 2D soustava buněk, kde každá buňka může nabýt dvou hodnot, tj. obsazená a neobsazená buňka. Komunikace je po určité délce rozdělena na jednotlivé buňky. Dále jsou definována pravidla, podle nichž se řídí provoz v modelu. [9]

Nagel-Schreckenbdergův model je model pro simulování provozu založený na celulárních automatech a je doplněn o stochastický prvek (prvek zahrnující do modelu náhodné jevy). Jak je patrné z principu celulárního automatu, jsou zde čas a prostor diskretizovány. Rychlosti jednotlivých vozidel nabývají také diskrétních hodnot. Vozovka je rozdělena na buňky dlouhé přibližně 7,5 metru (odpovídá vzdálenosti vozidel při maximální hustotě dopravního proudu, tj. při dopravní zácpě). [3]

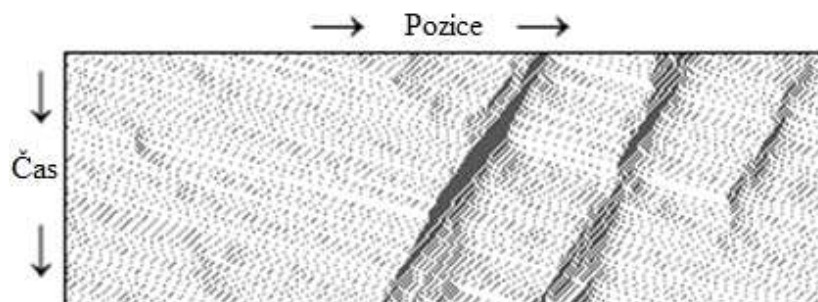
V každém výpočetním kroku automatu dochází ke změnám stavu jednotlivých buněk a to podle pravidel:

- **Pravidlo pro zrychlení vozidla** – pokud je rychlost v_i vozidla na i -té pozici menší než v_{\max} a vzdálenost k nejbližšímu předcházejícímu vozidlu větší než $v_i + l$, vzroste rychlost vozidla o jedničku. Tato podmínka odráží přirozenou potřebu řidiče srovnat rychlost s předcházejícím vozidlem. [3]
- **Pravidlo pro zpomalení vozidla** – pokud je rychlost v_i vozidla na i -té pozici větší než vzdálenost d k nejbližšímu předcházejícímu vozidlu, dojde ke snížení rychlosti vozidla na novou hodnotu $v_i = d - l$. Tato podmínka odráží snahu řidiče vyhnout se kolizi s pomaleji jedoucím předcházejícím vozidlem. [3]
- **Stochastický prvek** – s pravděpodobností p je rychlost každého vozidla zmenšena o jedničku. Tento krok odráží míru nahodilosti v chování každého řidiče a jeho reakce na vnější podněty, které nemusí přímo souviset s chováním předcházejícího vozidla. [3]
- **Pravidlo pro přesun vozidla na novou pozici** – na základě předcházejících kroků se vozidlo posune o v_i buněk směrem dopředu. [3]

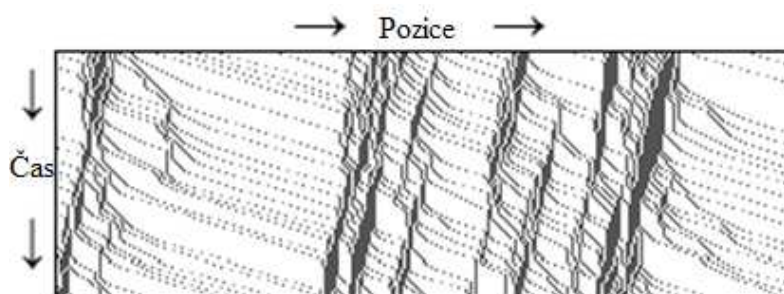
Tyto pravidla odrážejí ty nejzákladnější charakteristiky chování vozidel. Stochastický prvek vnáší do modelu náhodné změny rychlost, které jsou způsobeny lidským faktorem a vlivem vnějších podmínek. Bez tohoto stochastického prvku by se model dostal brzy do rovnovážného stavu a všechna vozidla by se pohybovala konstantní rychlostí, což by neodpovídalo reálnému dopravnímu proudu. [3]

Komunikace bývá modelovaná jako otevřený systém (komunikace má tvar úsečky) nebo na uzavřený okruh. Uzavřený okruh dosahuje věrnějšího zobrazení reality, z důvodu toho, že interakce mezi vozidly vznikají přirozenou cestou. [3]

Obrázky 3.14 a 3.15 znázorňují grafické zobrazení koncentraci vozidel (na uzavřeném okruhu, kdy je kruhová vozovka rozvinuta a natažena do tvaru úsečky) v jednotlivých místech modelu při rozdílné hodnotě stochastického prvku. [3]



Obrázek 3.14: Diagram hustoty dopravního toku Nagel-Schreckenbergova modelu s hodnotou $p = 0,2$. [3]



Obrázek 3.15: Diagram hustoty dopravního toku Nagel-Schreckenbergova modelu s hodnotou $p = 0,7$. [3]

Nagel-Schreckenbergův model je rozšiřován o další varianty, většinou se jedná o doplnění dalších pravidel pro řízení provozu v modelu.

3.3 Shrnutí

Nejdůležitější jak velkou oblast chceme modelovat a jaké výstupy od modelu očekáváme. Pro rozlehlé modelované oblasti volíme makrosimulační modely, které nám poskytnou data o objemech dopravy na jednotlivých komunikacích a podle toho navrhovat úpravy dopravní sítě na úrovni výstavby nových komunikací. Pro modelování komunikací s velkou hustotou dopravního toku jsou vhodné modely, jako Greenbergův model nebo model Greenshieldův. Modely vhodné pro použití na komunikacích s nízkou hodnotou hustoty dopravního toku jsou Underwoodův exponenciální model a modifikovaný Greenbergův model v *single regime* variantě. Pro situace, kdy může být hustota dopravního toku vysoká tak i nízká, jsou navrženy *multi-regime* modely, např. *Edie* model nebo *two regime* Greenbergův model.

Pro simulaci malých území, zahrnujících jednu nebo několik křižovatek, používáme mikroskopické simulační metody. Na základě těchto simulací můžeme rozhodnout, jak upravit jednotlivé křižovatky (např. počet jízdních pruhů), tak aby jejich propustnost byla co největší. Tyto modely jsou většinou odvozeny od základního *car following* modelu a zavádějí

do něj další zdokonalení, jako jsou psycho-fyzikální aspekty nebo stochastickou složku (Wiedemannův model).

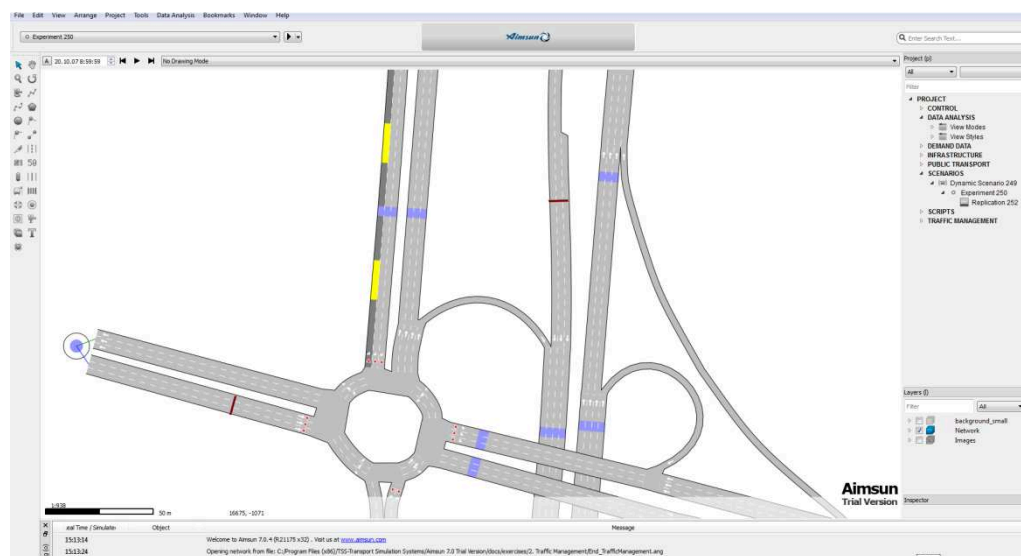
4 Existující řešení pro dopravní modelování

Dostupných nástrojů pro dopravní modelování je celá řada. V této práci se zaměříme na ty nejčastěji používané řešení. Mezi nejvíce využívané řešení patří řešení vyvíjené společností TSS – Transport Simulation Systems, které se nazývá AIMSUN. Další významné řešení je software společnosti Quadrotne Paramics, vyvíjející software pro multimodální analýzu a mikrosimulace Paramics.

Dalším často používaným softwarovým řešením jsou VISUM a VISSIM, každý z těchto programů je zaměřen na jinou podoblast, VISUM je nástroj pro modelování v makroskopickém a mesoskopickém měřítku, kdežto VISSIM je zaměřen na simulaci provozu vozidel a chodců v mikroskopickém měřítku. Tyto softwarové řešení jsou vyvíjeny německou firmou PTV Group. Produkt VISUM byl použit společností CityPlan (oficiální české zastoupení společnosti PTV Group), která zpracovala a udržuje dopravní model automobilové dopravy České republiky. V návaznosti na tento model jsou dále zpracovávány podrobnější dopravní modely regionů a měst. [13]

4.1 AIMSUN

AIMSUN je dopravně simulační software vyvíjený společností TSS – Transport Simulation Systems. Jedná se o hybridní řešení, které umožňuje provádět makroskopické, mesoskopické a také mikroskopické simulace. Umožňuje v modelu vymezit oblasti, které se budou simulovat s větší mírou detailů. Řešení je vhodné pro multimodální analýzu (tj. kombinuje všechny obory dopravy do jednoho modelu). [10]



Obrázek 4.1: Ukázka uživatelského rozhraní. Snímek obrazovky z AIMSUN.



Obrázek 4.2: Příklad hybridního použití softwaru AIMSUN. [10]

Vstupními daty jsou OD matice (matice znázorňující počet cest z jedné oblasti do oblasti jiné). K dispozici jsou jak diskrétní modely výběru trasy, tak i stochastické modely (modelu zohledňující náhodnou veličinu). [10]

AIMSUN je navržen pro běh ve více vláknech, což umožňuje paralelizovat výpočty při použití více jádrových procesorů, je možné jej také využívat na různých platformách a to jak Windows (XP, Vista, 7), tak v operačních systémech Linux Ubuntu a MAC OSX. Disponuje také možností tvorby skriptů v programovacím jazyce Python. API je dostupné pro programovací jazyky Python a C++. K dispozici je i celá řada modulů pro import dat z jiných softwarů: [10]

- TRANSYT pro optimalizaci světelné signalizace na křižovatkách.
- Modelování znečištění emisemi s VERSIT+.
- Rovněž lze používat data z GIS softwarů (ERSI soubory a MapInfo soubory).
- Dopravní síť je možné importovat i ze souborů NAVTEQ®.
- Import dat pro vytvoření dopravní sítě je rovněž možné z OpenStreetMaps nebo ze souboru OSM, který je nabízen ke stažení na webu pro různé oblasti planety (Německo, Česká Republika, Slovensko, atd.).
- Import dopravní sítě a OD matic z TransCAD.

- Import dopravní sítě z CONTRAM.
- Import dopravní sítě a OD matic z Paramics.
- Import dopravní sítě a OD matic z aplikace VISSIM.
- Import dopravní sítě a OD matic z nástroje VISUM (import uzlů, zón, konektorů, nemožnost importu OD matic).
- Import dopravní sítě z Road XML.

(VISUM, VISSIM, Paramics, GIS softwarů (ESRI ® soubory), import dopravní sítě z OpenStreetMaps nebo Road XML). [10]

Výsledná data mohou být zobrazena jako 2D nebo 3D (pouze pro mikrosimulaci) pohledy. [10]

4.1.1 Implementace Car-following modelu v AIMSUN

V prostředí AIMSUN je použit varianta *car-following* modelu založená na dodržování bezpečné vzdálenosti mezi vozidly vyvinutá Peterem G. Gippssem. [7]

V tomto modelu se následující vozidlo snaží upravit vzdálenost mezi sebou a před sebou jedoucím vozidlem, takovým způsobem, aby byla dodržena bezpečná vzdálenost mezi vozidly. Při zrychlení vedoucího vozidla je zrychlení následujícího vozidla limitovanou nastavenou hodnotou maximálního zrychlení. AIMSUN pro tento model v časovém intervalu $(t, t + T)$ uplatňuje následující matematický vztah: [7]

$$v(t + T) = \min[v^a(t + T), v^b(t + T)] \quad (4.1)$$

Rychlost vozidla se může v jednom časovém kroku zvýšit maximálně o:

$$v^b(t + T) = d_n^{max} * T + \sqrt{(d_n^{max} * T)^2 - d_n^{max} * \left\{ 2[x_{n-1}(t) - s_{n-1} - x_n(t)] - v_n(t) * T - \frac{v_{n-1}(t)^2}{d_{n-1}} \right\}} \quad (4.2)$$

Kde a_n^{max} je maximální požadované zrychlení n -tého vozidla v $m*s^{-2}$, d_n^{max} je maximální požadované zpomalení n -tého vozidla v $m*s^{-2}$.

Pro odhad zpomalení vedoucího vozidla jsou dány dva způsoby. V jednom případě se předpokládá, že řidič následujícího vozidla odhadne zpomalení vedoucího vozidla dokonale a druhý je dán matematickým popisem: [7]

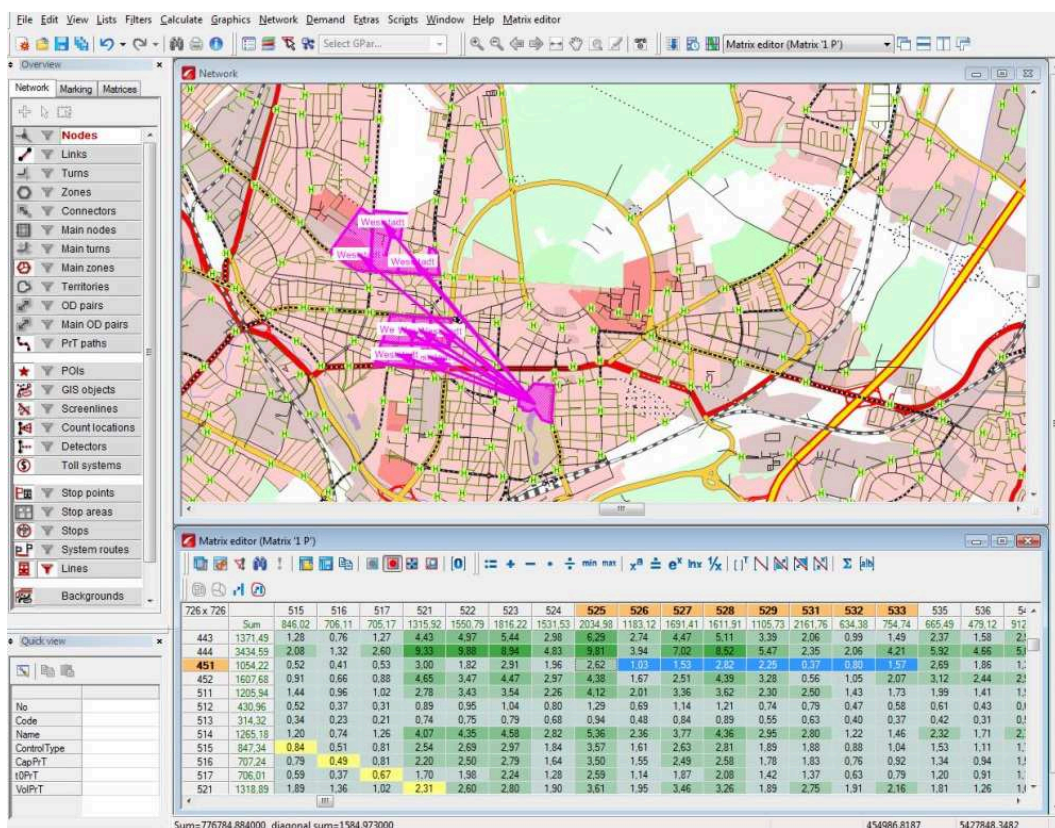
$$\widehat{d_{n-1}} = \frac{d_n + d_{n-1}}{2} \quad (4.3)$$

4.2 VISUM

VISUM je produktem společnosti PTV Group, je vyvíjen již více než 30 let.

VISUM je software pro dopravní modelování, analýzu, prognózy a správu GIS dat. Je možné jej použít pro kompletní správu datového modelu a analýzu dopravní sítě. Jeho využití je při makroskopickém a mesoskopickém modelování (pro mikrosimulační modely je určen software VISSIM, viz kapitola 4.3). [11]

Vstupními daty jsou OD matice, které je možné v programu dále upravovat a analyzovat (provádění matematických operací nebo zobrazení histogramu). [11]



Obrázek 4.3: Ukázka grafického prostředí VISUM s dopravní sítí a editor OD matic. [15]

Software je navržen pro multimodální analýzu, tj. integruje všechny významné obory dopravy do jednoho síťového konzistentního modelu. [11]

VISUM je dostupný ve verzi pro operační systém Windows a disponuje celou řadou modulů pro import dat z jiných softwarových řešení: [11]

- Modul pro import informací z jízdních řádů systému DIVA
- Modul pro import informací z jízdních řádů systému HAFAS
- Modul pro import informací z jízdních řádů systému Mikrobuss
- Modul pro import informací z Google Transitu
- Modul pro import informací z jízdních řádů z railML®.

- Modul pro export GIS souboru, umožňuje vyexportovat do ESRI ® souborů, je možný i export atributů jednotlivých objektů.
- Modul pro export a import dat z MS SQL.
- Modul pro import dopravní sítě ze systému SATURN, který zachovává informace o geometrii uzlu v síti.
- Export modelu sítě do vektorového grafického formátu SVG (*Scalable Vector Graphics*), který je možný použít pro prezentaci na webových stránkách nebo dalšímu zpracování. SVG soubory je možno dále do aplikace VISUM importovat jako obrázky pozadí.
- PTV VISUM interface umožňuje předání dat z makroskopické analýzy do softwaru VISSIM k mikroskopické simulaci.
- Modul pro importování dat z VDV-452 (ASCII formát pro popis veřejné dopravy).

K dispozici je celá řada modulů pro dodatečné analýzy:

- **EWS (economic efficiency analyses of roads)** – Nástroj pro provádění analýz investic pro výstavbu silnic na základě doporučení EWS-97.
- **Kalendář** – Určuje pracovní dny a dny pracovního klidu pro dynamické řízení dopravy.
- **HBEFA** – Pro predikci znečištění ovzduší emisemi ze silniční dopravy.
- **PrT noise and pollutants** – Pro analýzu dopadu dopravy na životní prostředí (jak emisní znečištění tak hlukové znečištění).
- **Grafický editor jízdního řádu veřejné dopravy.**
- **Schematic Line Diagram** – Pro grafické znázornění vedení linek veřejné hromadné dopravy.

4.3 VISSIM

VISSIM je produktem společnosti PTV Group. Jeho vnitřní architektura je složena ze dvou částí:

- **Traffic simulator** – mikroskopický simulátor dopravního toku implementující *car following* model a *lane changing* model.
- **Signal state generátor** – Kontrolní část softwaru, která se dotazuje v pravidelném časovém kroku simulátoru na informace z provozu. Z těchto informací se určuje chování pro následující časový krok a data jsou předána zpět simulátoru.

Jako vstupní data jsou využity intenzity jednotlivých dopravních toků, pro každé vozidlo a každého řidiče v simulaci lze specifikovat parametry, kterými se řídí reakce řidiče a vozidla na simulovaný provoz. Tyto parametry lze rozdělit do kategorií:

- **Technické parametry vozidla** – Délka vozidla, maximální možná rychlost, maximální zrychlení, maximální zpomalení, poloha v dopravní síti.
- **Vlastnosti řidiče** – Psycho-fyzikální prahy citlivosti řidiče (schopnost odhadu, agresivita), paměť řidiče, míra zrychlení při reakci na vedoucí vozidlo.

- **Provázanost chování jednotlivých řidičů** – Vnímání vedoucích vozidel, vnímání dopravních signálů.

VISSIM umožňuje řidiči reagovat na více před ním jedoucích vozidel (4 ve výchozím nastavení), ale i na vozidla v sousedních jízdních pruzích.

4.3.1 Dopravní síť

Základním prvkem pro dopravní simulace ve VISSUM je síťový spoj, po kterém se pohybují vozidla, může reprezentovat jeden nebo více jízdních pruhů. Dopravní síť se navrhuje spojením těchto spojů přes tzv. konektory. Pro reprezentaci křižovatek se používá množina spojů a konektorů, následně je nutné definovat hlavní a vedlejší komunikace, k tomu je použito tzv. stop line a konfliktní zóny. Pro simulaci křižovatek se světelnými signály jsou k dispozici moduly světelné signalizace, jako jsou *Econolite ASC/3*, *LISA+OMTC*, *SCATS*, *SCOOT*, *VAP Ring Barrier Control (RBC)*.

4.3.2 Simulace chodců

Ve VISSIM je pohyb chodců modelován pomocí *Social Force* model (Helbing and Molnár, 1995). Základní myšlenkou je modelovat základní impuls pro pohyb chodce analogicky k newtonovské mechanice. Celkový fyzický parametr zrychlení se odvíjí od sociální, psychologické a fyzické síly. Chování chodců je klasifikováno do tří úrovní:

- **Strategická úroveň** - (plánuje se minuty až hodiny dopředu) chodec v ní plánuje svou trasu k cíli.
- **Taktická úroveň** – (plánuje se sekundy až minuty dopředu) chodec rozhoduje o cestě mezi jednotlivými body cesty.
- **Provozní úroveň** – (plánuje se sekundy až milisekundy dopředu) chodec provádí skutečný pohyb, vyhýbá se překážkám nebo jiným chodcům.

Social Force Model pracuje především na taktickou a provozní úroveň, strategická úroveň je zadána uživatelem.

4.3.3 Implementace Car-following modelu

VISSIM implementuje tento model jako Wiedemannův psycho-fyzikální model, a to ve dvou variantách, ve variantě Wiedemann 74 a Wiedemann 99. [7]

Přesnost modelu dopravní simulace je závislá především na kvalitě modelování jednotlivých vozidel. VISSIM používá model vyvinutý Weidemannem v roce 1974, ten říká, že řidič vozidla začne zpomalovat, jakmile dosáhne na určitou vzdálenost k vozidlu jedoucímu před ním. Vzhledem k tomu, že nedokáže přesně určit rychlost tohoto vozidla, jeho rychlost klesne pod rychlost předním jedoucím vozidlem, poté začne opět mírně zrychlovat, aby se přiblížil před ním jedoucímu vozidlu. Tento proces zrychlování a zpomalování se neustále opakuje. Pokud se před řidičem nevyskytuje žádné vozidlo, snaží se sám dosáhnout a udržet určitou rychlost. Pro variantu Wiedemann 74 je průměrná vzdálenost mezi stojícími

vozidly od -1m do 1m, jenž podléhá normální rozdělení s parametry mediánem v_0 a se směrodatnou odchylkou 0,3m. Přidaná vzdálenost k bezpečné vzdálenosti mezi vozidly tvoří část vzdálenosti mezi vozidly, která je definovaná jako: [7]

$$d = ax + bx \quad (4.4)$$

Kde ax je vzdálenost mezi stojícími vozidly a bx je definováno jako: [7]

$$bx = (bx_{add} + bx_{mult} * z) * \sqrt{v} \quad (4.5)$$

Kde bx_{add} je přidaná vzdálenost k bezpečné vzdálenosti a bx_{mult} je bezpečná vzdálenost mezi vozidly, v je rychlost vozidla a z je parametr z rozsahu 0 až 1, který podléhá normálnímu rozdělení s mediánem 0,5 a směrodatnou odchylkou 0,15. [7]

4.4 Shrnutí

Pro popsání softwarové řešení byla sestavena tabulka se shrnutím základních parametrů těchto softwarů.

Tabulka 4.1: Shrnutí vlastností jednotlivých softwarových řešení.

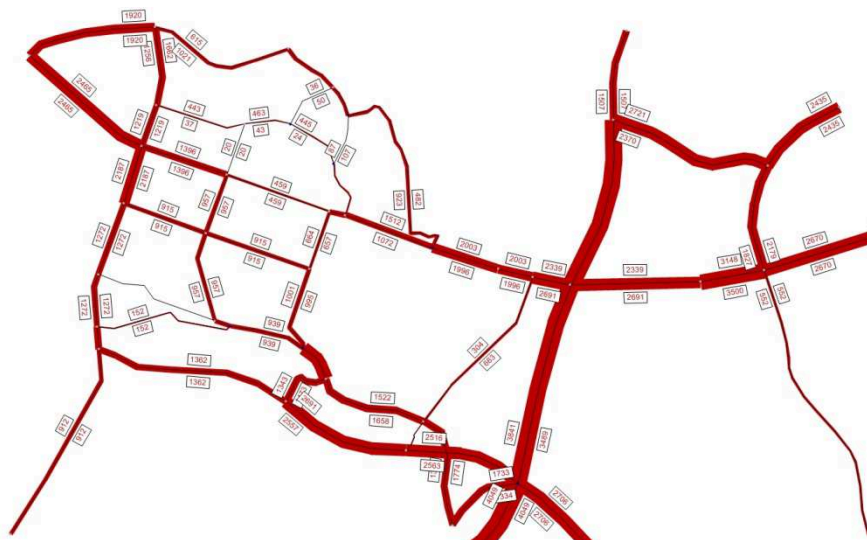
	AIMSUN	VISUM	VISSIM
Multiplatformní software	Ano	Ne	Ne
Velikost modelu	Mikro, meso, makro	Makro, meso	Mikro
Velikost sítě	Neomezená (pouze verze Advanced)	Neomezená	Neomezená
Model dopravní poprávky	Ano	Ano	---
Hybridní model	Ano (mikro/meso)	Ne	Ne
Dopravní modelování	Ano	Ano	Ne
Dopravní simulace	Ano	Ne	Ano
Multimodální analýza	Ano	Ano	Ano
Vytváření skriptů	Ano (Python, C++)	Ano (Python)	Ano (Python)
Vlastní API	Ano	Ne	Ano
Modelování / simulace chodců	Ano	Ano	Ano
Modelování / simulace veřejné dopravy	Ano	Ano	Ano
Řízení dopravy světelnými signály	Ano	Ano	Ano
Definování geometrie křižovatek	Ano	Ano	Ano
Import dat z GIS (ERSI),	Ano	Ano	Ano
Export modelu sítě do SVG	Ne	Ano	Ano
Import dat z OpenStreetMaps	Ano	Ano	Ne
Import dat z Visum	Ano	---	Ano
Import dat z Aimsun	---	Ne	Ne

Jako software zvolený pro další popis byla zvolena dvojice softwarů VISUM a VISSIM. Byla zvolena dvojice softwarů z důvodu, že každých z nich pokrývá jiné měřítko a jeden je zaměřen na dopravní modelování, kdežto druhý je zaměřen na dopravní simulace. Rovněž byly zohledněny možnosti získání studentské licence pro tyto softwary, tak i vstřícnost komunikace ze strany distributora softwaru.

5 Postup pro realizaci modelu v aplikaci VISUM

Pro vytvoření dopravního modelu je nejprve se třeba seznámit s jednotlivými prvky softwaru VISUM a jeho vlastnostmi. Software VISUM byl využit pro vytvoření dopravního modelu části Poruba, města Ostravy, který je přílohou této diplomové práce.

Model znázorňuje dopravní zatížení jednotlivých komunikací v tomto městském obvodu a přilehlém okolí v měřítku mesoskopickém. Byly vytvořeny modely inkrementálním, rovnovážným a rovnovážným Lohse přiřazením. Pro každý algoritmus přiřazení byly vytvořeny dva modely, jeden počítá s plnou průjezdností modelované dopravní sítě a druhý jednosměrnou uzavírkou silnice II/479 v úseku zvaném Svinovské mosty ve směru z centra města do městské části Poruba. Uvedený návod koresponduje s postupem, jakým byl zmíněný model Ostravy – Poruby vytvořen. Jednotlivé grafické a tabulkové výstupy jsou uvedeny v přílohách. Z důvodu neexistence vhodných vstupních dat, byly pro modelování použity smyšlené hodnoty. Grafické výstupy z modelu a numerické vyjádření objemu dopravních toků jsou přiloženy v příloze této diplomové práce. Pro konstrukci jednotlivých dopravních uzlů a dopravních spojů byly použity podklady z mapového portálu mapy.cz.



Obrázek 5.1: Náhled na model při použití algoritmu inkrementálního přiřazení. Snímek obrazovky z VISUM.

5.1 Prvky modelu dopravní infrastruktury

VISUM používá pro znázornění dopravní sítě model tvořený ze dvou základních prvků, uzlů (*nodes*) a spojů (*links*), ty spojují jednotlivé síťové uzly. Tyto prvky tvoří základní kostru dopravního modelu. Jednotlivé síťové spoje lze agregovat do jednoho hlavního spoje (*main node*).

5.1.1 Síťové uzly

Síťové uzly definují body v dopravní síti, kde dochází k jejímu větvení. Pro organizaci síťových spojů lze použít třídy (*TypeNo*), každé třídě lze nadefinovat unikátní vlastnosti, ze kterých budou jednotlivé spoje při jejich vytváření tyto vlastnosti dědit.

Každý spoj má několik vlastností:

Nodes: 1	
No	1
TypeNo	0
Code	
Name	
AddVal1	0
AddVal2	0
AddVal3	0
CapPrT	100000
t0PrT	0min
XCoord	72.2313
YCoord	194.4688
ZCoord	0.0000
ControlType	Unknown
UseMethodImpAtNode	<input type="checkbox"/>
MethodImpAtNode	Turns VDF
ICASneakers	2.00
ICAPHFVolAdj	1.00
ICAIsCBD	<input type="checkbox"/>

Obrázek 5.2: Vlastnosti dopravních uzlů. Snímek obrazovky z VISUM.

- **No** – Jednoznačné identifikační číslo uzlu.
- **TypeNo** – Třída ve které je uzel zařazen.
- **Code** – Krátké jméno dopravního uzlu.
- **Name** – Dlouhé jméno dopravního uzlu
- **AddValue1** – Hodnota, která může být použita v uživatelem definovaných skriptech.
- **AddValue2** – Hodnota, která může být použita v uživatelem definovaných skriptech.
- **AddValue3** – Hodnota, která může být použita v uživatelem definovaných skriptech.
- **CapPrT** – Kapacita pro soukromou dopravu.
- **t0PrT** – Doba průjezdu vozidla soukromé dopravy přes dopravní uzel.
- **XCoord** – X souřadnice v dopravním modelu.
- **YCoord** – Y souřadnice v dopravním modelu.
- **ZCoord** – Z souřadnice v dopravním modelu.
- **ControlType** – Systém řízení dopravního uzlu.
- **UseMethodImpAtNode** – Použití přednastavené metody pro výpočet impedance v uzlu.
- **MethodImpAtNode** – Přednastavená metoda výpočtu impedance v uzlu.
- **ICASneakers** – Počet vozidel, které projedou na zelenou při řízení uzlu světelnou signalizací.

5.1.2 Síťové spoje

Síťové spoje propojují jednotlivé síťové uzly, znázorňují jednotlivé komunikace v reálné dopravní síti. Rovněž síťové spoje mohou být hierarchicky organizovány do tříd a disponují těmito vlastnostmi (vlastnosti lze definovat pro každý směr zvlášť):

Number: 1, Type: 00
From node: 2, To node: 1, Transport systems: B,C,W
Basis | PrT TSys | PuT TSys | Environment | EWS-97 | Congestion | DUE | ICA | Time-varying attr.
Direct distance: 0.051km, v0 PrT: 50km/h
Length: 0.051km, Lanes: 1
AddValue 1: 0, Capacity PrT: 99999
AddValue 2: 0, HGV share [%]: 0
AddValue 3: 0
Plan no.: 0
Bar label: ☒
Volume PuT-walk: 0
Name:
Opposite OK Cancel

Obrázek 5.3: Vlastnosti síťového spoje. Snímek obrazovky z VISUM.

- **Number** – Jedinečné identifikační číslo každého síťového spoje.
- **Type** – Třída, do které spoje náleží.
- **From node** – Počáteční uzel, ze kterého spoje vychází.
- **To node** – Koncový uzel, ve kterém spoj končí.
- **Transport systems** – Označuje, pro které dopravní systémy může být síťový spoj využit.
- **Length** – Délka síťového spoje.
- **AddValue1** – Hodnota, která může být použita v uživatelem definovaných skriptech.
- **AddValue2** – Hodnota, která může být použita v uživatelem definovaných skriptech.
- **AddValue3** – Hodnota, která může být použita v uživatelem definovaných skriptech.
- **Name** – Název uzlu.
- **v0 PrT** – Maximální rychlost na dopravou nezátíženém spoji.
- **Lanes** – Počet jízdních pruhů (v jednom směru).
- **Capacity PrT** – Kapacita spoje pro soukromou dopravu.

Všechny výše uvedené vlastnosti lze nastavit i pro opačný směr, pro přepnutí do vlastností opačného směru slouží tlačítko *Opposite*. Lze nastavovat další parametry pro soukromou dopravu, veřejnou dopravu, parametry prostředí, parametry pro výpočet ekologické zátěže (EWS-97), atd.

5.1.3 Turns

Turns slouží pro definici možnosti odbočení v síťových uzlech. Mají vliv na rychlost dopravního toku vedoucí přes uzel.

5.1.4 Zóny

Zóny slouží pro definici území se společnými vlastnostmi, kde končí nebo začínají cesty jednotlivých účastníků provozu. Každá zóna může být nastavena jako zóna externí nebo interní. Externí zóna pouze generuje nebo přijímá dopravní tok a nedovoluje průchod dopravního toku přes zónu, na rozdíl od zóny interní. Pro jejich napojení na dopravní síť slouží konektory. Každá zóna je reprezentovaná v OD matici vlastním záznamem. Jednotlivé zóny je možné sdružovat do hlavních zón (*main zones*).

5.1.5 Teritoria

Teritoria reprezentují jednotlivé územně správní celky, jejich použití je například pro výpočet celkové délky síťových spojů na daném území nebo celkového počtu zastávek veřejné dopravy.

5.1.6 Zastávky veřejné dopravy (Stop points, stop areas, stops)

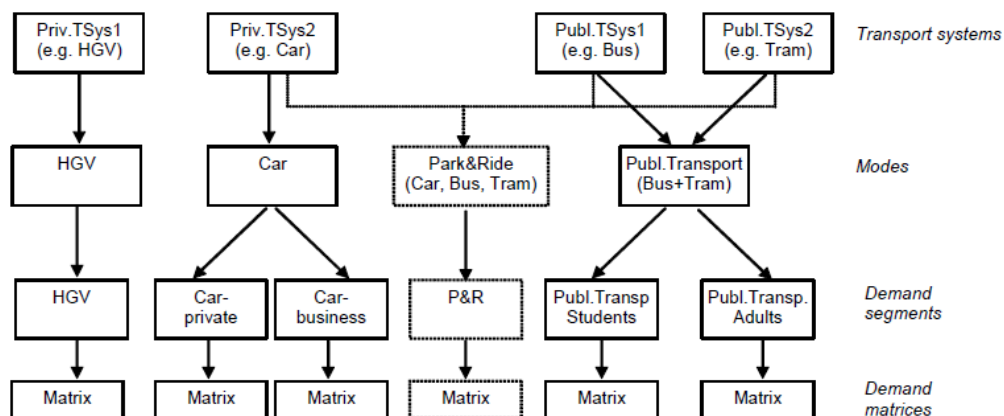
Označují body v dopravní síti určené k nástupu a výstupu cestujících. Lze je umísťovat na síťové spoje nebo na síťový uzel. Zastávka může fungovat pouze pro definované linky veřejné dopravy pohybující se místem, kde je zastávka umístěna.

Stop areas slučují více zastávek v těsné blízkosti a slouží pro vytvoření přestupního uzlu veřejné dopravy.

Stops jsou objekty, které zahrnují *stop points* a *stop areas*. Je to nejvýše položený objekt v hierarchii zastávek a je spíš organizační povahy.

5.2 Dopravní systémy

Doprava se skládá z několika dopravních systémů. Jednotlivý typy a jejich kombinace umožňují propojení dopravní nabídky s poptávkou. Dopravní model počítá s rozdělením dopravy na jednotlivé dopravní systémy a lze určit, které prvky dopravního modelu mohou jednotlivé dopravní systémy využívat.



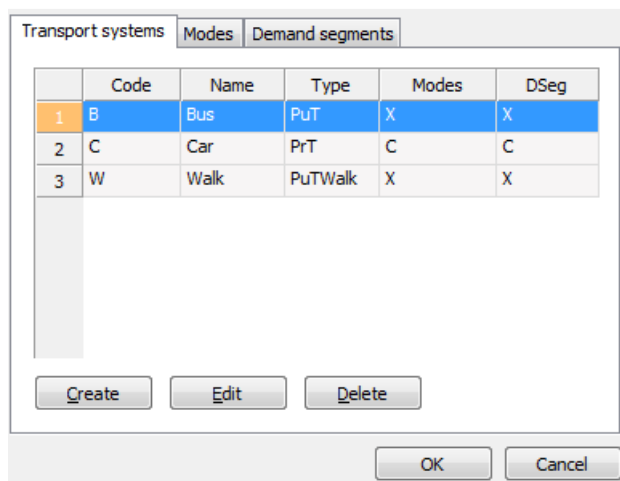
Obrázek 5.4: Hierarchie dopravních systémů ve VISUM. [11]

Rozdělení dopravních systému a jejich příklady:

Tabulka 5.1: Rozdělení dopravních systémů. [11]

Typ dopravního systému	Zkratka použita v aplikaci VISUM	Popis	Příklad
Soukromá doprava	PrT	<ul style="list-style-type: none"> Dopravní systém pro soukromou dopravu. Kapacita vyplývá z jízdní doby a počtu jízd. 	Osobní auto, nákladní auto
Hromadná doprava	PuT	<ul style="list-style-type: none"> Hromadná doprava podle jízdního řádu. Systém nemusí být dopravit cestující až ke konektoru zóny. 	Autobus, tramvaj, vlak
	PuTAux	– Veřejná doprava bez jízdního řádu, nebo kombinace PrT a PuT.	Autobus, P+R, Taxi
Pěší doprava	PuTWalk	– Transportní systém pro přístup k zastávkám nebo mezi zastávkami.	Chodník, eskalátor, výtah

Obrázek 5.5 ukazuje náhled dialogového okna s dopravními systémy. Každý systém obsahuje své krátké (*Code*) a dlouhé jméno (*Name*), typ dopravního systému (*Type*), do kterého dopravního módu patří (*Modes*), a do kterého poptávkového segmentu (*DSeg*).



Obrázek 5.5: Dialogové okno pro správu dopravních systémů. Snímek obrazovky z VISUM.

Poptávkový segment tvoří jednu skupinu přepravujících se osob, typickým příkladem poptávkového segmentu mohou být například žáci dojíždějící do škol.

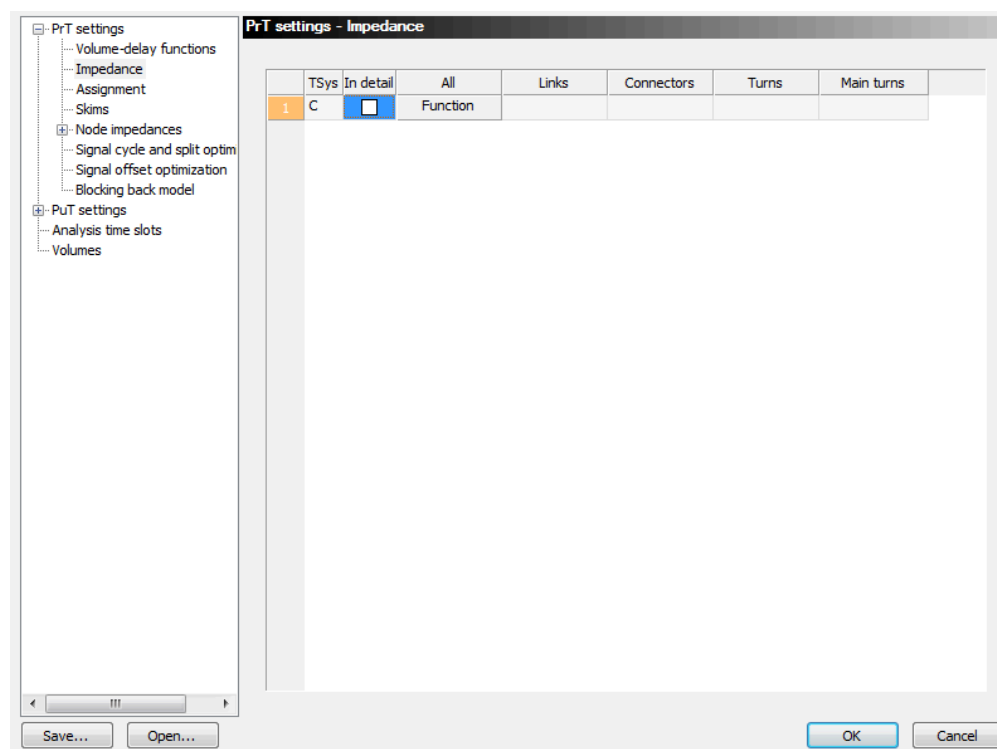
5.3 Impedanční funkce

Impedanční funkce je obecné úsilí nutné pro připojení se k dopravnímu procesu. Všechny faktory bránící účastníkům k připojení do dopravního procesu jsou shrnuty do této funkce. Zejména jsou to čas a náklady připojení se k procesu. Je možné volit i vlastní kritéria (např.: impedance bude větší, pokud ve veřejné dopravě nebudou splněna některá komfortní kritéria).

Problémem impedančních funkcí je, že sdružují zcela odlišné aspekty a dávají vzniknout hodnotě ve tvaru čísla. Tyto různé aspekty jsou měřitelné ve zcela odlišných jednotkách, a proto musí být určena váha jednotlivých aspektů a hodnoty musejí být podle těchto vah přepočítány. Ovšem lze obecně říci, že váhy těchto faktorů budou pro různé skupiny účastníků provozu odlišné. Z toho důvodu je možné přidělit impedanční funkci každému poptávkovému segmentu.

Nastavení výpočtu impedanční funkce pro soukromou dopravu se upravuje vyvoláním nabídky *calculate* z menu, zvolením položky *general procedure settings*, rozbalením nabídky *PrT settings* a zvolením položky *impedance*.

Pro výpočet impedance mohou být ze všech síťových prvků použity atributy. Na jednotlivé atributy přenásobené koeficienty může být následně aplikovaná aritmetická operace. Tyto rovnice mohou být nastaveny pro síťové spoje, konektory, směry odbočení v síťovém uzlu (*turns*) a hlavní směr odbočení v síťovém uzlu (*main turns*) zvlášť.



Obrázek 5.6: Dialogové okno pro nastavení výpočtu hodnot impedance pro každý transportní systém zvlášť. Snímek obrazovky z VISUM.

5.4 Postup pro vytvoření dopravního modelu

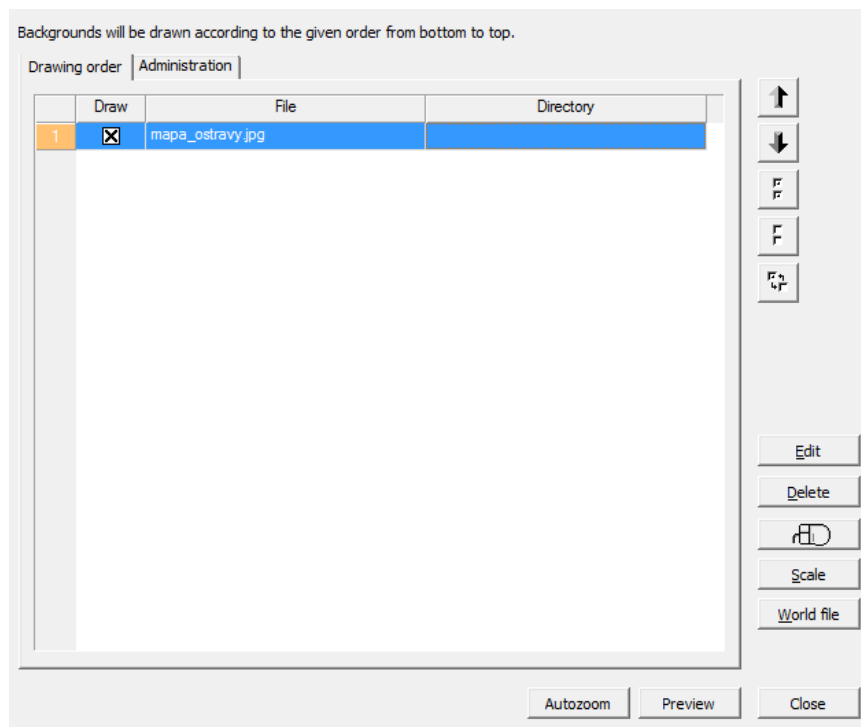
Síťový editor VISUM nabízí tři základní módy pro práci se síťovým modelem, a to mód vkládání, mód výběru (slouží pro výběr jednoho objektu) a mód speciálního výběru (slouží pro vybrání více objektů najednou).

5.4.1 Vytvoření modelu dopravní sítě

Pro realizaci dopravní simulace je zapotřebí znát topologii dopravní sítě. V prostředí VISUM je možné navrhnout topologii vložení mapového pozadí a překreslením jednotlivých komunikací. Pro vložení pozadí slouží volba *backgrounds* z okna *network*. Po vložení pozadí je nutné upravit měřítko, aby odpovídaly vzdálenosti v modelu dopravní sítě. To se provádí výběrem příslušného pozadí, po kterém se zobrazí dialogové okno správy pozadí.

V tomto dialogovém okně (obrázek 5.7) pokračujeme volbou tlačítka *scale*, po jeho zvolení označíme jakoukoliv známou vzdálenost na mapovém pozadí. Nejjednodušší bývá využít mapového měřítka, zobrazeného obvykle v levém dolním rohu mapy. Po označení této

vzdálenosti budeme vyzváni, abychom zadali, jakou vzdálenost tento označený úsek představuje ve skutečnosti.



Obrázek 5.6: Dialogové okno správy pozadí. Snímek obrazovky z VISUM.

Následuje krok, ve kterém vytvoříme jednotlivé třídy síťových spojů, které budeme v modelu využívat.

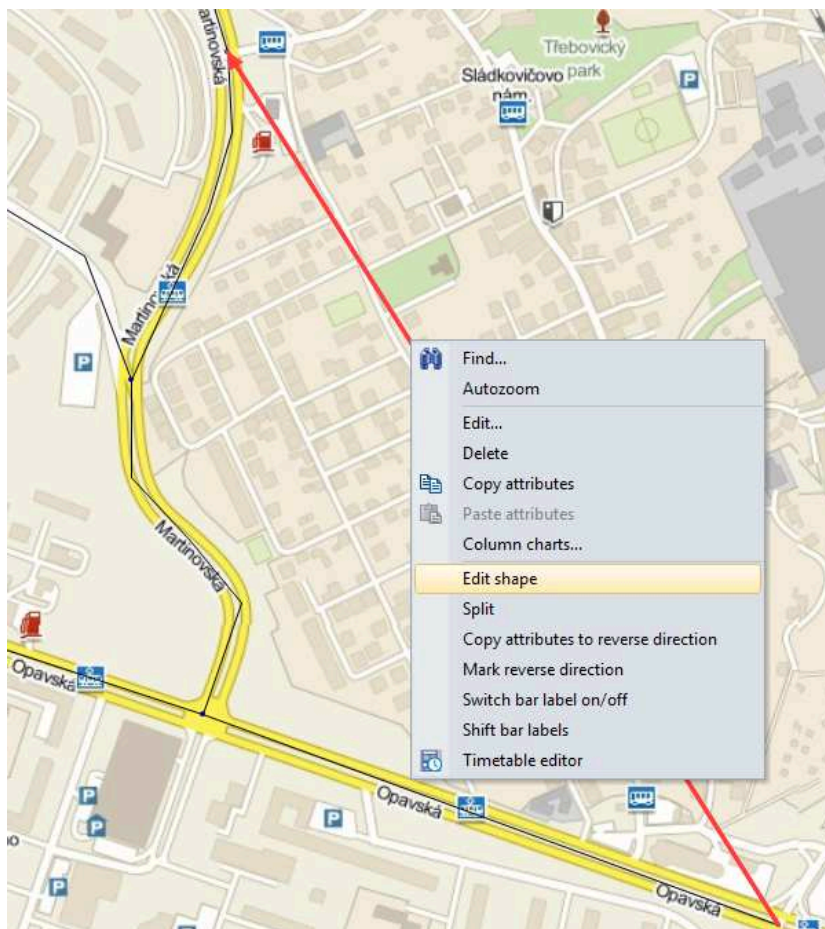
List (Link types)									
Count: 100	No	Name	Strict	Rank	TSysSet	NumLanes	CapPrT	VOPrT	
1	0	Oddělený dvojpruh	<input type="checkbox"/>	1	B,C	2	1250	50km/h	
2	1	Dvojpruh	<input type="checkbox"/>	1	B,C	2	1550	50km/h	
3	2	Jednojpruh	<input type="checkbox"/>	1	B,C	1	1050	50km/h	
4	3	Oddělený dvojpruh - 80km/h	<input type="checkbox"/>	1	B,C	2	2550	80km/h	
5	4	Dálnice	<input type="checkbox"/>	1	B,C	2	2900	130km/h	
6	5		<input type="checkbox"/>	1	B,C,W	1	99999	50km/h	
7	6		<input type="checkbox"/>	1	B,C,W	1	99999	50km/h	
8	7		<input type="checkbox"/>	1	B,C,W	1	99999	50km/h	

Obrázek 5.7: Seznam tříd síťových spojů. Snímek obrazovky z VISUM.

Nadefinovali jsme 5 tříd síťových spojů, spolu s jejich parametry, jako jsou transportní systémy, které je mohou využívat (B = bus, C = car). Počtem jízdních pruhů v každém směru, kapacity a maximální povolenou rychlostí na dopravu nezatíženém síťovém spoji.

V dalším kroku identifikujeme všechny křižovatky a na jejich místech (za pomoci mapového pozadí) vytvoříme síťové uzly. Tyto uzly postupně propojujeme síťovými spoji.

Volíme typ spoje z předem definovaných tříd. V případě, že tvar komunikace neodpovídá přímce, je možné jej modelovat její tvar pomocí, lomené čáry.

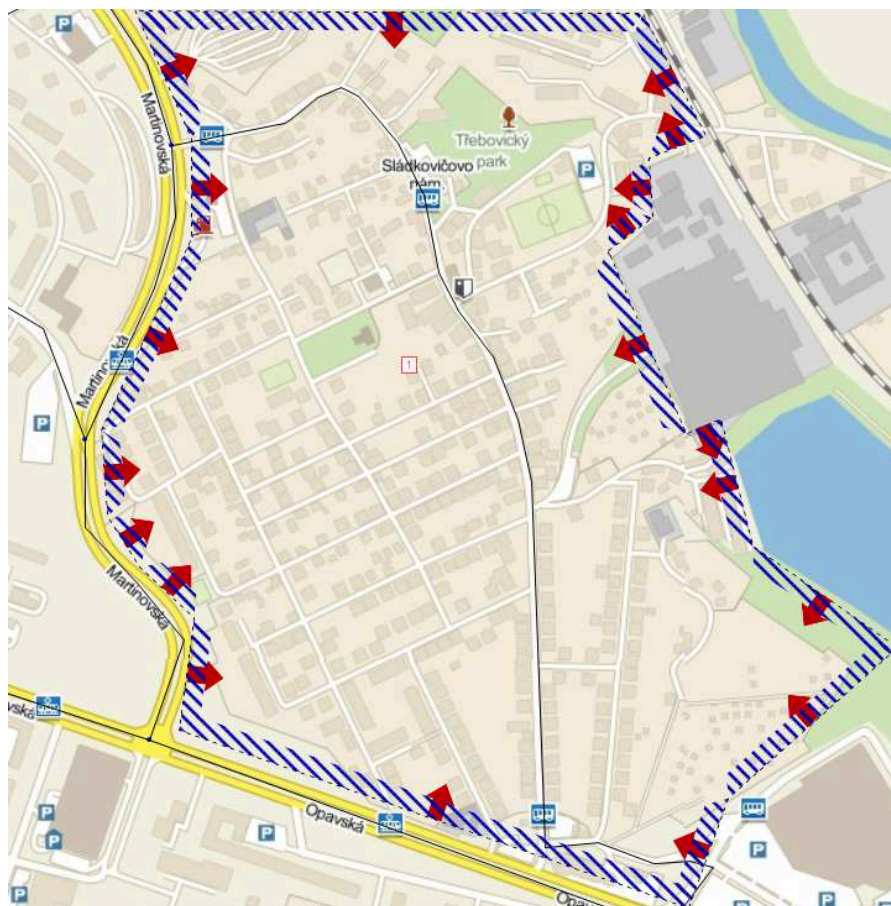


Obrázek 5.8: Postup pro úpravu tvaru síťového spoje. Snímek obrazovky z VISUM.

Editace probíhá po vytvoření síťového spoje tak, že mód výběru pro síťové spoje, označíme pořadový spoj a po vyvolání kontextové nabídky stiskem pravého tlačítka myši zvolíme možnost *edit shape*. Úprava tvaru probíhá vždy od počátečního bodu síťového spoje po jeho koncový bod. Směr lze změnit volbou *mark reverse direction*. Editaci ukončíme stiskem pravého tlačítka myši, budeme dotázáni, zda chceme použít délku lomené čáry pro přiřazení do atributu síťového spoje reprezentující délku.

Po vytvoření všech uzlů a spojů přechází na řadu definice jednotlivých zón. Zóna je reprezentována jedním bodem a jejím obvodem. Přidání zóny probíhá nejdříve definici jejího bodu, a poté definici jejího obvodu složeného z lomené čáry. Jako zóny volíme oblasti se stejným využitím, například nákupní centra, rezidenční oblast, komerční oblast, nebo jednotlivé územní části (záleží na měřítku a použití modelu). Pro oblasti jimiž dopravní tok

bude procházet, volíme typ zóny interní a pro zóny, jenž reprezentují např. konce jednotlivých komunikací vycházející z modelu, volíme zóny externí.



Obrázek 5.9: Definice zóny. Snímek obrazovky z VISUM.

Jednotlivé zóny se na dopravní síť (konkrétně do dopravních uzlů) napojují konektory. Pro vložení konektoru zvolíme v okně *network connector* a spojíme bod zóny a uzel dopravní sítě. Konektor může sloužit jen vybraným dopravním systémům.

From zone 1 To node 2

Type 0

Basis Transport systems

	Permissible	TSys	Type	t0	Volume
1	<input checked="" type="checkbox"/>	C Car	PrT	17s	0
2	<input checked="" type="checkbox"/>	W Walk	PuTWalk	3min 27s	0

Other connectors

< > Opposite

OK Cancel

Obrázek 5.10: Výběr transportního systému pro konektor. Snímek obrazovky z VISUM.

5.4.2 Vytvoření OD matice

Pro vytvoření OD matice je třeba zvolit volbu *Matrix* v levém postranním panelu. Po otevření kontextové nabídky zvolíme volbu *create matrices*. Nyní máme na výběr z několika možností, zda chceme vytvořit poptávkovou matici (*demand matrix*) nebo *skim* matici, ať už pro zóny nebo pro hlavní zóny (*main zones*). Matice je možné definovat staticky nebo za pomoci matematických vzorců.

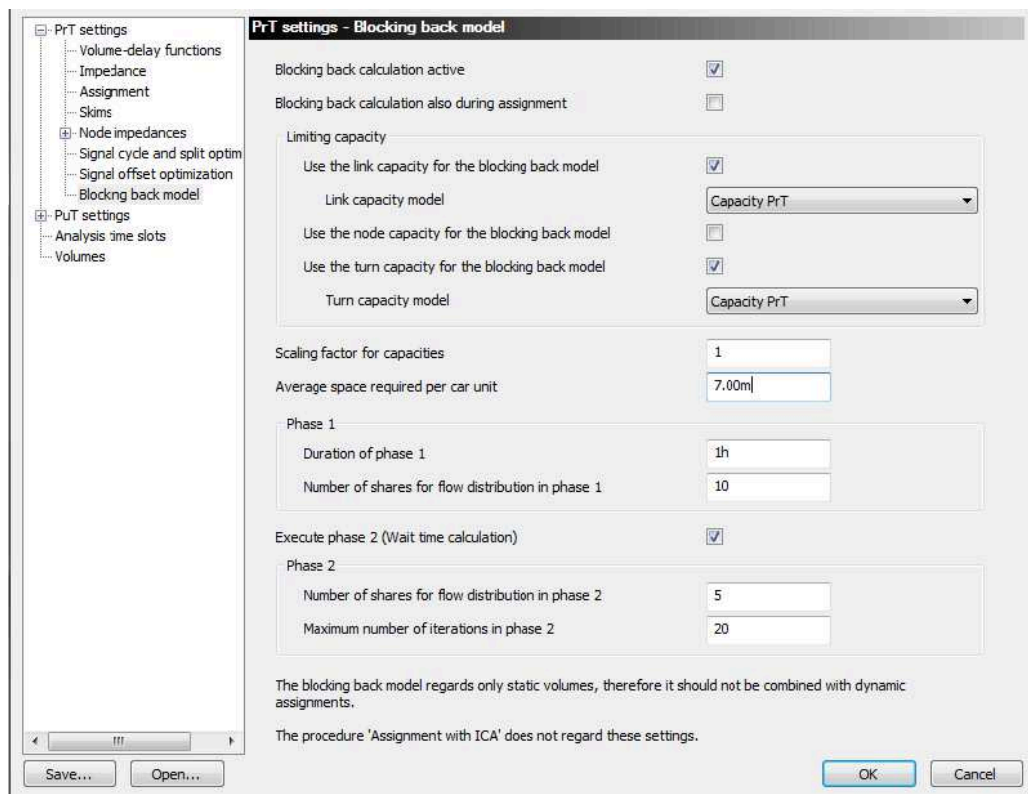
Obrázek 5.11: Dialogové okno pro výběr typu matice. Snímek obrazovky z VISUM.

Zvolíme možnost vytvořit poptávkovou matici pro zóny definovanou bez matematického vzorce. Po odsouhlasení těchto možností se otevře editor matic s maticí, které má počet řádků a sloupců rovnající se počtu vytvořených zón. Do této matice se zapisují počty cest vozidel z počáteční oblasti do oblasti cílové za jeden časový interval (nejlépe je použít jednu hodinu, vzhledem ostatním údajům jako je kapacita síťových spojů, které se vztahují k jedné hodině). Editor matic disponuje řadou matematických funkcí pro jejich úpravy, a to sčítání, odčítání, násobení, dělení jak maticí, tak konstantou, zaokrouhlování, logaritmování, transponování atd.

5.4.3 Blocking back model

Tento model VISUM využívá k doplnění čistě statických postupů, které nemají žádnou časovou referenci (inkrementální přiřazení, rovnovážné přiřazení, rovnovážné přiřazení *Lohse*, *TRIBUT* přiřazení a stochastické přiřazení). *blocking back* model je použit k výpočtu čekací doby v dopravních zácpách a výpočtu délek kolon. Globální nastavení parametrů modelu

se provede výběrem *general procedure settings* z menu *calculate*, v takto vyvolaném dialogovém okně rozvineme nabídku *PrT settings* a zvolíme *blocking back model*.

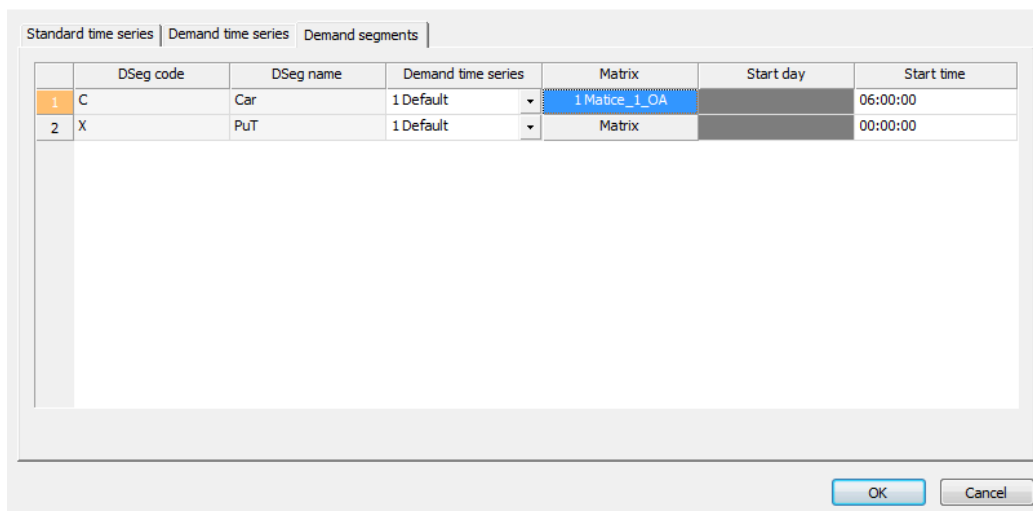


Obrázek 5.12: Nastavení parametrů *blocking back* modelu. Snímek obrazovky z VISUM.

V horní části dialogového okna se provádí globální aktivace modelu, následuje nastavení, jaké kapacity se mají pro aplikaci modelu využít (kapacity spojů, uzlů nebo směru odbočení v dopravní síti) a zda bude brána v potaz kapacita nebo suma kapacit jednotlivých směru odbočení. Dále je možné nastavit faktor omezující kapacitu na časový interval a průměrnou délku, kterou zabírá jedno auto na vozovce (délka vozidla v součtu s mezerou mezi vozidly). Následují parametry jednotlivých fází výpočtu modelu, v první fázi se předává dopravní tok z jednoho síťového spoje na jiný, dokud není dosaženo jeho kapacity. Ve druhé fázi (tato fáze nemusí být spuštěna) se výpočet zpřesňuje tím, že se uvažuje postupné odbourání přetížení komunikace, to je prováděno po malých časových krocích.

5.5 Algoritmy přiřazování soukromé dopravy

Z menu *calculate* vybereme položku *procedure sequence*, dále zvolíme vytvoření procedury a vybereme možnost *PrT assignment*. Pro výpočet je nutné určit, kterou matici má program pro výpočet použít, to se provede volbou menu *demand* a položkou *demand data*, po přepnutí na záložku *demand segments* můžeme zvolit k požadovanému poptávkovému segmentu matici, ze které má načítat data pro výpočet.

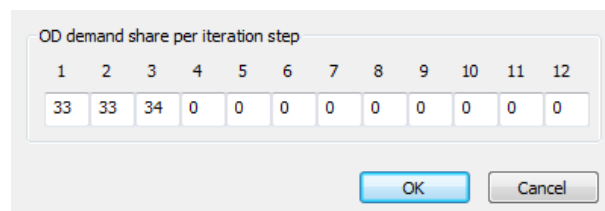


Obrázek 5.13: Dialogové okno *demand data* pro výběr OD matice pro výpočet. Snímek obrazovky z VISUM.

Pro samotný výpočet VISUM nabízí několik algoritmů výpočtů popsaných v kapitolách 5.5.1 až 5.5.10.

5.5.1 Inkrementální přiřazení

Tento algoritmus rozděluje poptávkovou matici na několik dílčích matic, ty jsou postupně přiřazovány dopravní síti, impedance vychází vždy z předchozího kroku modelování. Lze určit kolik procent cest z OD matice bude v každém kroku přiřazeno do dopravního modelu.



Obrázek 5.14: Přiřazení procentuálního podílu cest z OD matic pro každý krok inkrementálního přiřazení. Snímek obrazovky z VISUM.

V prvním kroku využívají řidiči nejkratší cestu k cíli, čímž dochází k zatížení komunikací, a tím se zvyšuje impedance v jednotlivých spojích, uzlech a konektorech. V dalších krocích se zohledňuje impedance a řidiči si vybírají cesty s ohledem na tyto impedance.

5.5.2 Rovnovážné přiřazení

Algoritmus rovnovážného přiřazení distribuuje poptávku podle prvního Wardropova principu (Popisuje šíření cest při hledání objízdné trasy a říká: „Jízdní doby ve všech trasách skutečně použitých jsou si rovny a menší než, jakékoliv nevyužité trasy.“ [11]). Rovnovážného

stavu je dosaženo multi-postupnými iteracemi na základě přírůstkové přiřazení jako počátečního řešení.

☐ Use current assignment result as initial solution

Initial solution with incremental assignment

OD demand share per iteration step												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Termination condition

Permitted deviation of impedances of alternative routes:

Absolute deviation: 0

Relative deviation: 0

Max. number of iterations: 20

Max. gap: 0.0001

Blocking back calculation during assignment:

Max. relative deviation: 0.01

Network balancing

Max. number of iterations: 5

OK Cancel

Obrázek 5.15: Nastavení parametrů rovnovážného přiřazení. Snímek obrazovky z VISUM.

Volba *use current assignment result as initial solution* slouží pro použití počátečních hodnot z velikosti dopravních toků, pocházející z předchozího výsledku, při vypnutí této volby bude počáteční rozdělení vypočteno na základě nejkratších cest k cíli (jako v inkrementálním přiřazení). Následuje procentuální zastoupení cest z OD matice pro každý krok výpočtu. Následují ukončovací kritéria výpočtu, pokud je alespoň jedna z těchto podmínek splněna VISUM ukončí iterační proces výpočtu:

- Přípustná odchylka impedance jednotlivých tras (lze definovat absolutní odchylku nebo relativní odchylku),
- počet iterací,
- maximální mezera – hodnota vypočtená jako:

$$Gap = \frac{I-H}{H} \quad (5.1)$$

Kde *Gap* je mezní hodnota, *I* je impedance vozidla a *H* hypotetická impedance vozidla.

Posledním nastavení je maximální počet vnitřních vyrovnávacích iterací.

5.5.3 Rovnovážné přiřazení LUCE

Využívá LUCE (*Linear User Cost Equilibrium*) algoritmus, který je založen na myšlence v každém uzlu dopravní sítě zachovávat rovnováhu při výběru trasy. Dosahuje velmi rychlé konvergence.

☐ Use existing assignment as initial solution

Termination condition

Max. number of iterations: 100

Max. gap: 1e-005

Multithreading

Number of zones to be balanced in parallel: 1. This value affects the assignment result in the framework of convergence and the convergence itself.

Optimization of the proportionality of route volumes at meshes

☒ No optimization

☐ Separate balancing for each transport system.
The network object volumes by TSys will be retained.
Recommended, if the following applies to most of the network elements: At the network element, the impedances are not identical for all TSys.

☐ Joint balancing for equi-impedance meshes for all transport systems, if possible.
Recommended, if the following applies to most of the network elements: At the network element, the impedances are identical for all TSys.
Requires more computing time, however.

OK Cancel

Obrázek 5.16: Nastavení parametrů rovnovážného přiřazení LUCE. Snímek obrazovky z VISUM.

Volba *use current assignment result as initial solution* viz kapitola 5.5.2. Možnosti optimalizace jsou samostatné vyvažování pro každý dopravní systém samostatně nebo společná vyvažovací strategie pro všechny dopravní systémy.

5.5.4 Rovnovážné přiřazení Lohse

Využívá proces učení účastníků silničního provozu. Řidiči postupně zahrnují informace získané na jejich předešlé cestě, na další vyhledávání vhodné trasy. Impedance jednotlivých cest je odvozena z objemů dopravy na dopravním spoji a impedance v předešlém kroku iteračního procesu. Iterační proces končí, když se odhadované časy cesty pro více vozidel shodují v dostatečné míře.

n = current iteration step, n = 1, ..., N
N = maximum number of iterations

Route volumes

Vol = Route volume
Vol'(n) = Vol'(n-1) + Delta(n) * (Vol(n) - Vol'(n-1)) = smoothed route volume
Delta(n) = (1 / n) ^ Generally, an exponent > 1 reduces the number of iterations, but does not necessarily reach convergence

Estimated impedances

R = Impedance of a network object
R'(n) = Estimated impedance of a network object
R'(n-1) + Delta(n) * (R(n) - R'(n-1))

LDelta = Lower limit of Delta
UDelta = Upper limit of Delta

$$\phi(TT(n)) = \frac{1}{1 + e^{(4 - 0.002 * TT(n))}}$$

$$TT(n) = \text{ABS} \left(\frac{R(n) - R'(n-1)}{R'(n-1)} \right)$$

$$\Delta(n) = \text{LDelta} + \frac{(\text{UDelta} - \text{LDelta})}{(1 + TT(n)) \phi(TT(n))}$$

Termination condition

n = N or to each link applies

$$\text{ABS}(R(n) - R'(n-1)) < \text{input} * R'(n-1) \left(\frac{\text{input}}{3} \right)$$

Obrázek 5.17: Nastavení parametrů rovnovážného přiřazení Lohse. Snímek obrazovky z VISUM.

V prvním řádku dialogového okna se nachází volba pro maximální počet iterací. V části okna pro objemy dopravy tras, které jsou vypočítávány metodou postupných průměrů se nastavuje exponent výpočetního vzorce. Exponent je možné nastavit na hodnoty od 1 do 4, větší hodnota snižuje počet iteračních kroků. Doporučená hodnota je mezi 1 a 1,5.

V části *estimated impedances* lze zvolit metodu pro vyhlazování impedance pomocí heuristického pravidla, Lotka-Valterra pravidla, metoda postupných průměrů, nevyhlazování impedance. V poslední části je možné nastavit podmínky ukončující iterační proces výpočtu.

5.5.5 Přiřazení s ICA

Využívá hodnot impedance v uzlech sítě, odvozuje se z objemů dopravních toků přes tento uzel v konfliktním směru. Pro tento algoritmus je nutné vymodelovat geometrii křižovatek do stavu zobrazujícího reálnu situaci, abychom dostali výsledky podobající se reálnému stavu.

Toto ovšem obvykle vede k nepříznivé konvergenci chování. Přiřazení s ICA využívá specifické zpožďovací funkce, které vedou k výrazně lepší konvergenci.

The screenshot shows the 'Procedure sequence' tab in the VISUM software interface. It contains several configuration options for the ICA assignment process:

- ☐ Use existing assignment as initial solution
- Minimum capacity of turns: 100 * 1.0
- ☐ Use the blocking back model
 - Limiting capacity
 - ☒ Use the link capacity for the blocking back model
 - Link capacity model: Capacity PrT
 - ☐ Use the node capacity for the blocking back model
 - ☒ Use the turn capacity for the blocking back model
 - Note: The blocking back model always uses the turn capacity for nodes with ICA
- Number of shares for flow distribution: 10
- Average space required per car unit: 7.00m
- ☒ Set the global blocking back model parameters and the blocking back parameters of ICA nodes to the blocking back parameters from assignment with ICA
- Time interval for ICA: 1h

Buttons for 'OK' and 'Cancel' are located at the bottom right.

Obrázek 5.18: Nastavení parametrů pro přiřazení s ICA. Snímek obrazovky z VISUM.

Pokud je zvolena volba *using the blocking back model*, jsou globální parametry tohoto modelu ignorovány a jsou použity nastavené parametry. Pro první iteraci výpočtu se používá podřízená metoda přiřazování, je na výběr z těchto algoritmů: Rovnovážné přiřazení, rovnovážné přiřazení *Lohse* a přiřazení *Lohse*.

Input | Procedure sequence | Output |

Subordinate assignment procedure: Equilibrium assignment [Parameters...]

Weight of the new solution for exponential smoothing of turn volumes and turn capacities: 0.3

Termination conditions

Condition	Share of turning vehicles which satisfy the condition
GEH between turning flows in previous assignment and current assignment is <= 1	0.95
GEH between turning flows in current assignment and smoothed ICA turning volumes is <= 1	0.95
Relative gap between ICA wait time and VDF wait time is <= 0.05	0.9

OK Cancel

Obrázek 5.19: Nastavení parametrů přiřazení s ICA - nastavení podřízeného přiřazování. Snímek obrazovky z VISUM.

Pro každý algoritmus je možné navolit jeho parametry pomocí tlačítka *parameters*. Následuje nastavení ukončovacích podmínek.

V poslední záložce můžeme nastavit ukládání reportů o attributech směrů a hlavních směrů.

5.5.6 Stochastické přiřazení

Tento algoritmus předpokládá, že řidiči si pro svou cestu vybírají nejlepší trasu, ale pro tento výběr mají k dispozici jen neúplné informace. Stochastické přiřazování zahrnuje náhodný faktor. Tento náhodný faktor může být modelován pomocí distribučních modelů, které určují podíl poptávky, která je přiřazena k trase:

- **Kirchohoffův model** – definovaného vztahem:

$$U_i^a = R_i^{a-\varepsilon} \quad (5.2)$$

Kde impedance R_i^a je impedance trasy, U označuje užitnost trasy, i číslo trasy, a je časový interval a parametr ε popisuje citlivost řidičů na vzrůstající impedanci.

V této metodě přidělování hraje rozhodující roli poměr impedancí.

- **Logit model** – u tohoto modelu není rozhodující poměr impedancí, ale jejich rozdíl. Matematický vzorec pro tento model zní:

$$U_i^a = e^{-\varepsilon * r_i^a} \quad (5.3)$$

- **Box-Cox model** - distribuční model založený na *Box-Cox* transformaci (slouží k nalezení objektivního odhadu střední hodnoty). Je definována pro dva případy a její matematický popis zní:

$$b^{(t)}(x) = \begin{cases} \frac{x^\tau - 1}{\tau} \text{ jestliže } \tau \neq 0 \\ \log(x) \text{ jestliže } \tau = 0 \end{cases} \quad (5.4)$$

$$U_i^a = e^{-\varepsilon * b^{(t)}(R_i^a)} \quad (5.5)$$

- **Lohse model** – jenž je popsán rovnicí:

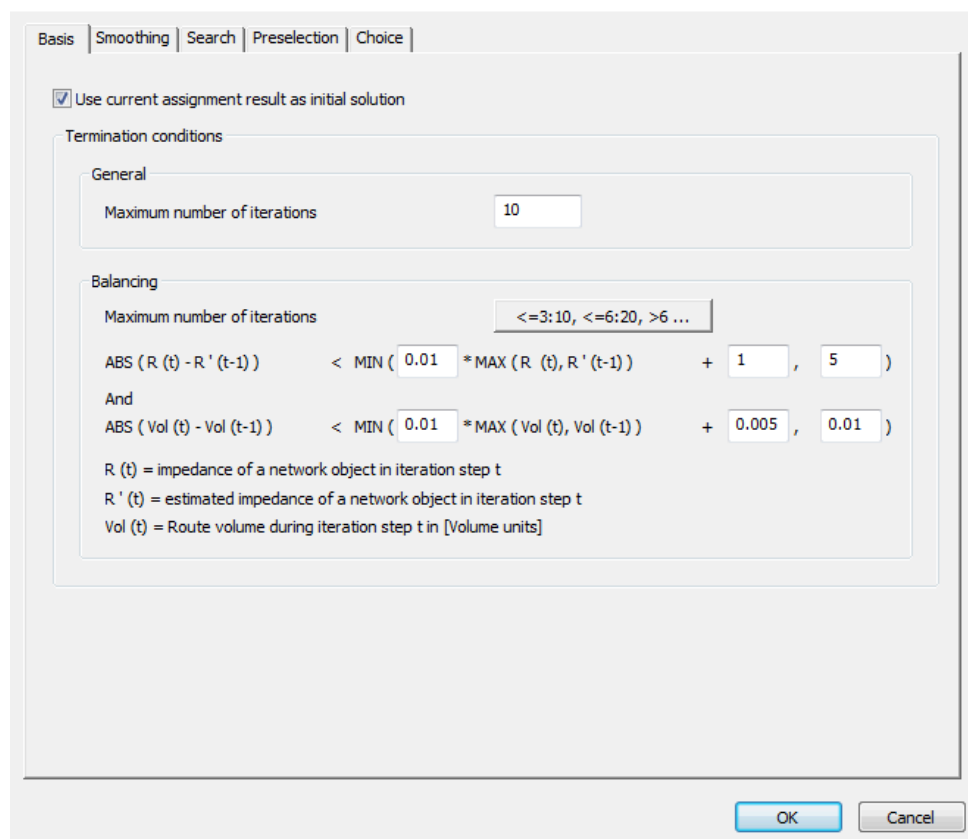
$$U_i^a = e^{-\left[\varepsilon * \left(\frac{R_i^a}{R_{min}^a} - 1\right)\right]^2} \quad (5.6)$$

Kde R_{min}^a je minimální impedance v cestě. Při určování parametru citlivosti řidičů na impedanci ε je nutné mít na paměti, že tento parametr bude ve výsledku umocněn na druhou. Tento model bývá využit jako alternativa ke Kirchhoffovu a *Logit* modelu.

- **Lohse modelu s variabilním parametrem citlivosti** – Tento model má shodné matematické vyjádření s *Lohse* modelem (viz vzorec 4.6) a jeho odlišnost spočívá v tom, že parametr citlivosti na impedanci je stanoven v závislosti na hodnotě nejnižší impedance v cestě a jeho výpočet se provede podle vzorce:

$$\beta = \frac{\tau}{1 + e^{(\lambda - \kappa * R_{min}^a)}} \quad (5.7)$$

Kde τ , λ a κ jsou parametry pro kalibraci modelu. Proměnná distribuce parametru ε zlepšuje modelování parametru citlivosti na impedanci, tzn. poměry impedancí mají jinou váhu pro krátké cesty a odlišnou váhu pro cesty dlouhé.



Obrázek 5.20: Nastavení parametrů stochastického přiřazení. Snímek obrazovky z VISUM.

Další nastavitelné hodnoty jsou maximální možný počet iterací, počet vyrovnávacích iterací, ukončovací podmínky pro výpočet vyrovnávacích iterací.

5.5.7 TRIBUT přiřazení

Vyvinut na základě francouzského výzkumného sdružení INREST. Je vhodný pro modelování dopravního systému zatíženým mýtným. Využívá dvou kritériální hledání cesty, které bere v úvahu náklady a čas. Matematické vyjádření tohoto přiřazení zní:

$$R_r = t_r + \frac{c_r}{V_T} \quad (5.8)$$

Kde R_r je impedance trasy r , t_r čas nutný ke zdolání trasy, c_r náklady na mýtné v trase a V_T je hodnota času řidiče v [měna * h⁻¹].

Parametr V_T může být stochastický modelován pomocí logaritmického rozdělení pravděpodobnosti s možností nastavení jeho mediánu a směrodatné odchylky.

5.5.8 TRIBUT – Lohse přiřazení

TRIBUT – Lohse přiřazení je metoda kombinující Lohse přiřazení a TRIBUT přiřazení. Procesní kroky odpovídají Lohse a na vzniklé cesty je aplikován postup z metody TRIBUT

pro vyhodnocení výhodnosti volby těchto cest v dopravním systému zatíženém mýtným. Zachovány jsou možnosti nastavení parametrů z rovnovážného *Lohse* přiřazení (metoda vyhlazování impedance) a nastavení parametru VT pro TRIBUT přiřazení.

5.5.9 Dynamické uživatelské rovnovážné přiřazení (DUE)

Dynamické uživatelské rovnovážné přiřazení umožňuje modelovat i dynamické jevy na dopravní síti, jako jsou vytváření kolon vozidel v důsledku dočasného přetížení sítě. Toto přiřazení bere v úvahu také časovou dimenzi, na rozdíl od předchozích metod, které braly v úvahu pouze prostorovou dimenzi.

The screenshot shows the 'Assignment time interval' tab of the DUE parameter settings dialog. The settings are as follows:

Section	Parameter	Value
Shortest path search	Maximum anticipated costs	100
	Discretization of the costs	0.01
Termination condition	Maximum computation time	1h
	Maximum number of iterations	100
	Maximum relative deviation	0.001
Spill-back	Calculate blocking back	<input checked="" type="checkbox"/>
	Maximum number of iterations	20
	Maximum relative deviation	0.001

Obrázek 5.21: Nastavení parametrů dynamického uživatelského rovnovážného přiřazení. Snímek obrazovky z VISUM.

Základní nastavení dynamického uživatelského rovnovážného přiřazení jsou zobrazeny na obrázku 5.21, je možné nastavit podmínky, které definují, že vždy je v síti k dispozici nějaká kapacita (v tomto přiřazení může vzniknout dosažení hranice kapacity komunikace, které neodpovídá realitě, typicky na kruhových objezdech do kterých ústí velmi zatížené komunikace). Ve střední části okna se nachází nastavení ukončovacích podmínek výpočtu (maximální čas, maximální počet iterací, maximální relativní odchylka). V poslední části se nastavuje parametry vnitřních iterací. V záložce *assignments time interval* se nacházejí nastavení pro rozdělení časové dimenze do jednotlivých intervalů, toto je vhodné pro analýzu provozu v různých částech dne.

5.5.10 Dynamické stochastické přiřazení

Doba přidělování je rozdělena do jednotlivých časových řezů s objemem a impedancí. Pro každý časový interval je poptávka rozdělena mezi dostupná spojení (spojení obsahuje cestu a čas odjezdu). Při použití této metody se mohou dynamicky měnit atributy jednotlivých dopravních spojů, uzlů a konektorů. Algoritmus rovněž zahrnuje i stochastické distribuční modely přidělování dopravy na spojení (viz kapitola 5.5.6). Jednotlivé parametry nastavení modelu jsou obdobné s modelem stochastického přidělování. Nastavení časových intervalů se provádí v záložce *search* (obrázek 5.20).

Tato metoda je vhodná pro analýzu dočasných účinků přetížení sítě, ale vyžaduje časové vrstvení poptávky pomocí distribuční křivky zadané pro každé období.

6 Postup pro realizaci v nástroji VISSIM

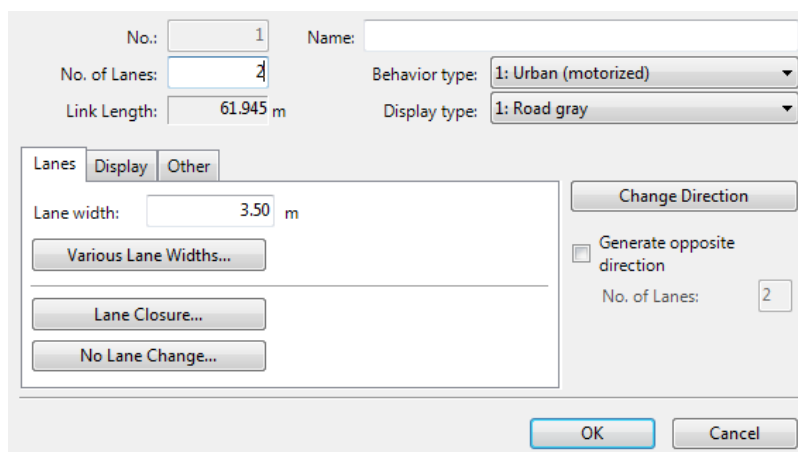
VISSIM je nástroj pro provádění dopravních simulací na mikroskopické úrovni. Umožňuje simulovat jak toky vozidel pro soukromou dopravu, tak i simulovat toky chodců v kombinaci se silniční dopravou tak i samostatně. VISSIM se využívá pro hledání alternativních řešení při návrhů dopravních staveb a jejich zhodnocení. Lze jej využít pro návrh časování signálů světelné signalizace.

6.1 Dopravní síť

Základním prvkem pro dopravní síť nástroje VISSIM je síťový spoj reprezentující jeden nebo více jízdních pruhů. Síť může být navržena spojením těchto síťových spojů přes konektory (bez těchto konektorů síťové spoje neumožňují žádnou interakci mezi sebou).

6.1.1 Vložení síťových spojů

Síťový spoj vložíme zvolením tlačítka *links & connectors* a podél komunikace viditelné na obrázku pozadí zvolíme trasu síťového spoje. Následně zadáme parametry vloženého síťového spoje.



Obrázek 6.1: Parametry síťového spoje. Snímek obrazovky z VISSIM.

Každý síťový spoj je jednoznačně identifikován svým číslem (No.), je možné jej identifikovat jménem. Lze nastavit parametry, jako jsou počet jízdních pruhů, šířka jednoho jízdního pruhu, omezení jízdního pruhu jen pro určitý druh dopravy, výškové souřadnice pro začátek a konec síťového spoje, typ síťového spoje a druh zobrazení (tato volba je užitečná, chceme-li vložit síťový spoj reprezentující např. tramvajovou trať).

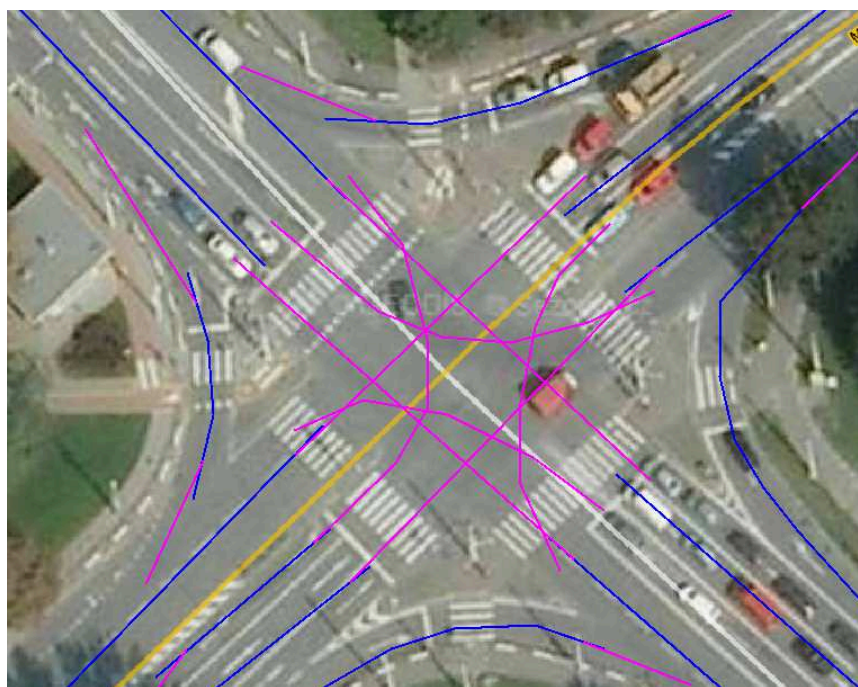
Odbočovací jízdní pruhy v křižovatce s rozdílnou geometrií, oproti přímému směru se reprezentují jako samostatný síťový spoj připojený konektory na počáteční koncový síťový spoj. Dále je vhodné pro přehlednost vložit vodorovné dopravní značení pro každý jízdní pruh.

Pro realizaci jednotlivých odbočení v křižovatce spojíme síťové spoje konektory, každému konektoru lze definovat jednotlivé jízdní pruhy, které má propojit.

Realizace modelu dopravní sítě začíná vložením pozadí (background), podle kterého budeme vytvářet dopravní síť. Podporované jsou jak bitmapové grafické formáty (např. bmp, jpg, png), tak i vektorové grafické formáty (např. dwg, dxf, shp). Vložení obrázku pozadí se provádí přes menu *view* zvolením položky *background* a následně *edit*. Pomocí tlačítka *scale* nastavíme měřítko označením nějaké známé vzdálenosti v obrázku pozadí (lze použít mapové měřítko) a následně zadáme hodnotu této vzdálenosti v reálném světě.

6.2 Tvorba křižovatky

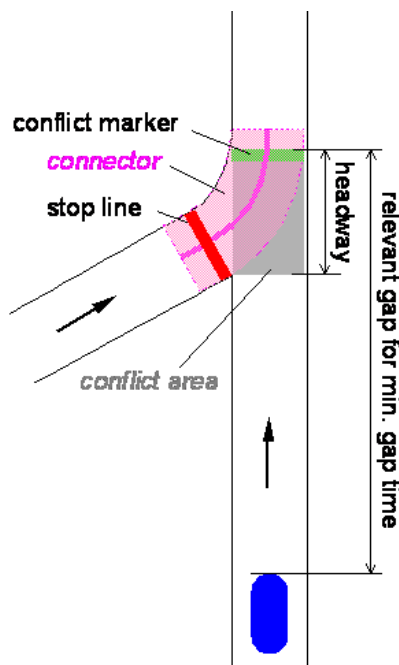
Každá křižovatka ve VISSIM je tvořena síťovými spoji, které jsou do každého směru, kde může vozidlo odbočit propojeny konektory. Na obrázku 6.2 je znázorněný model dopravní sítě křižovatky v pohledu se zobrazením středových čar. Modré čáry znázorňují jednotlivé síťové spoje, čáry konektory (fialové čáry) propojující jednotlivé síťové spoje (modré čáry).



Obrázek 6.2: Model dopravní sítě křižovatky. Snímek obrazovky z VISSIM a letecký snímek z mapy.cz.

Model křižovatky je nutné ještě doplnit o prioritní pravidla, skládající se z tzv. stop line a konfliktní zóny. Prioritní řeší pravidla přednosti v jízdě při průjezdu křižovatkou. Vozidlo může pokračovat v jízdě, přes stop line, pokud je na hlavní silnici splněna podmínka minimální vzdálenosti mezi vozidly nebo podmínka minimálního časového odstupu mezi vozidly. Podmínka minimální vzdálenosti se vyhodnocuje pro dopravní proudy vyšších rychlostí, kdežto

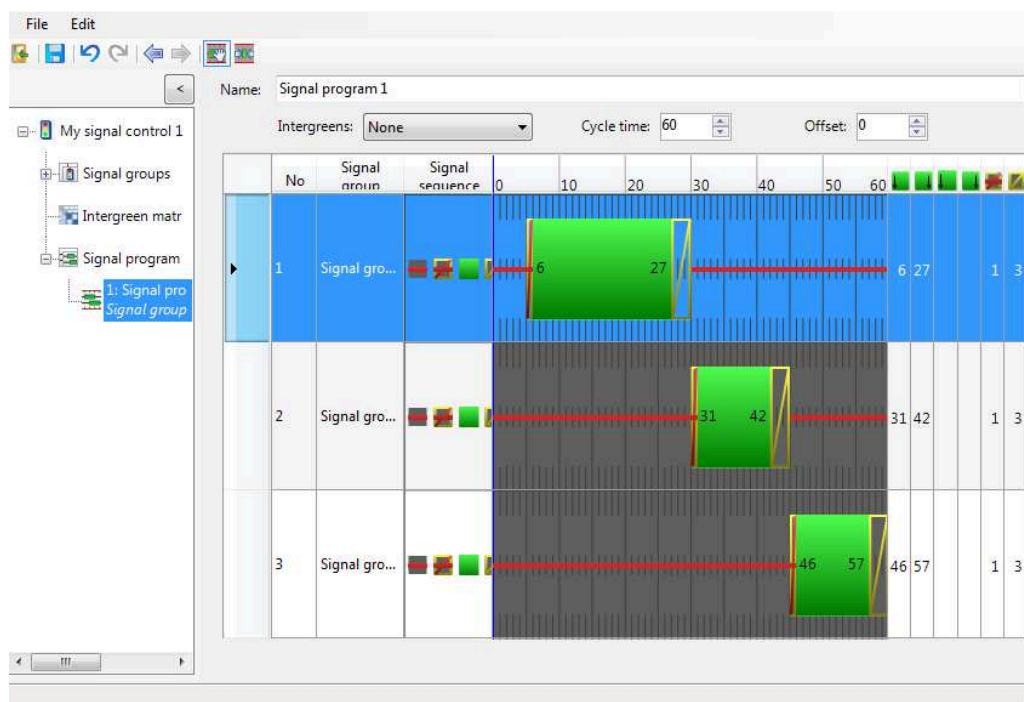
podmínka minimální mezery mezi vozidly se uplatňuje u pomalu se pohybujících dopravních toků.



6.3 Popis vzdáleností při tvorbě prioritního pravidla v křižovatce. [14]

Křižovatky se světelnou signalizací mohou být modelovány pevným algoritmem řízení světelné signalizace. K dispozici jsou různé externí moduly pro řízení logiky světelné signalizace (jako je *econolite ASC/3*, *LISA+OMTC*, *SCATS*, *SCOOT*, *VAP Ring Barrier Control (RBC)*). VISSIM umožňuje definovat pro každý dopravní systém vlastní světelnou signalizaci. Každý *signal controller* (obstarává řízení jedné světelné signalizace jedné křižovatky) umožňuje komunikaci s jiným *signal controllerem*.

Pro tvorbu světelné signalizace je potřeba vytvořit *signal controller* (obstarává řízení světelné signalizace obvykle v jedné křižovatce), to se provede zvolením menu *signal control* a položky *edit controllers*. Dále je nutné definovat skupiny signálů a vytvořit signální plán. V signálním plánu se definují doby a posloupnost rozsvícení světelných signálů pro jednotlivé skupiny signálů. Nejprve je potřebné zvolit posloupnost světelných signálů (v České Republice je používána červená – červená a oranžová – zelená – oranžová, lze doplnit například o blikající zelený signál používaný například v Rakousku). Doba jednoho cyklu signálního plánu je rovněž nastavitelná, v případě obrázku 6.4 je nastavena na 60 sekund.



Obrázek 6.4: Tvorba signálního plánu světelné signalizace. Snímek obrazovky z VISSIM.

Na obrázku 6.4 je patrná časování jednotlivých fází světelné signalizace, červená přímka označuje zobrazení červené barvy na semaforu, žlutý obdélník s červenou úhlopříčnou čarou označuje přechod z červeného na zelený signál (tzn. rozsvícení červeného a současně oranžového signálu na semaforu), zelený obdélník označuje dobu, po kterou bude rozsvícen zelený signál a oranžový obdélník s oranžovou úhlopříčnou čarou rozsvícení oranžového signálu na semaforu. Těmito jednoduchými rozděleními fází světelné signalizace mezi jednotlivé skupiny signálu se provádí nastavení časování světelné signalizace.

6.3 Vložení vstupů vozidel

Pro každou komunikaci do modelu vstupující vložíme vstup vozidel generující vozidla. Pro každý vstup se udává číslo síťového spoje, do kterého bude generovat vozidla, složení těchto vozidel (např. osobní auta z 70% a nákladní auta z 30%) a četnost vozidel za hodinu. Četnosti lze zadat také pro více časových intervalů definovaných počáteční a koncovou sekundou tohoto intervalu. Každému vstupu vozidel můžeme definovat, zda-li bude hodnota přidělována stochasticky (bude použito určité rozdělení pravděpodobnosti při přidávání vozidel do modelu).

Link Number	Link Name	Input Name	Show Label	0 - 1001	1001 - 3600
3			<input checked="" type="checkbox"/>	500	500
				2:Osobní doprav	2:Osobní dop

Volumes are shown in veh/h. Yellow cells indicate exact (non-stochastic) volumes.

Time Intervals

Time
0
1001
3600

OK Cancel

Obrázek 6.5: Parametry vstupu vozidel. Snímek obrazovky z VISSIM.

6.4 Nastavení parametrů simulace

Pro správný průběh simulace je nutné nastavit správné parametry. Dialogové okno pro nastavení těchto parametrů otevřeme z menu *simulation* a zvolením *simulation params*.

Comment:

Traffic regulations: ☒ Right-side Traffic
☐ Left-side Traffic
☐ Use gradient from z coordinates

Period: Simulation seconds

Start Time: [hh:mm:ss]

Start Date: [YYYYMMDD]

Simulation resolution: Time step(s) / Sim. sec.

Random Seed:

Simulation speed: ☒ 4.0 Sim. sec. / s
☐ maximum
☐ Retrospective synchronization

Break at: Simulation seconds

Number of cores:

OK Cancel

Obrázek 6.6: Nastavení parametrů simulace. Snímek obrazovky z VISSIM.

Pro korektní průběh simulace je nutno definovat, zda budeme simulovat levostranný nebo pravostranný provoz (je nutné pro správnou funkci zastávek hromadné dopravy nebo chování řidičů na dálničních přivaděčích). Volba *use gradient from z coordinates* zapíná funkci vypočítání sklonu síťového spoje z jeho z-souřadnic. Simulace umožňuje nastavit čas a datum zahájení simulace (využití například pro simulování provozu v dopravních špičkách). Volba *simulation resolution* udává, kolikrát za sekundu bude simulace propočítávána, toto nastavení spolu s volbou *simulation speed*, které udává počet simulovaných sekund v jedné sekundě reálného času, jsou závislé na výkonu hardwaru a rozlehlosti simulované dopravní sítě. Dalšími nastaveními jsou délka simulace v simulovaných sekundách a počet procesorových jader, které budou využity k výpočtu.

6.5 Parametry vozidel

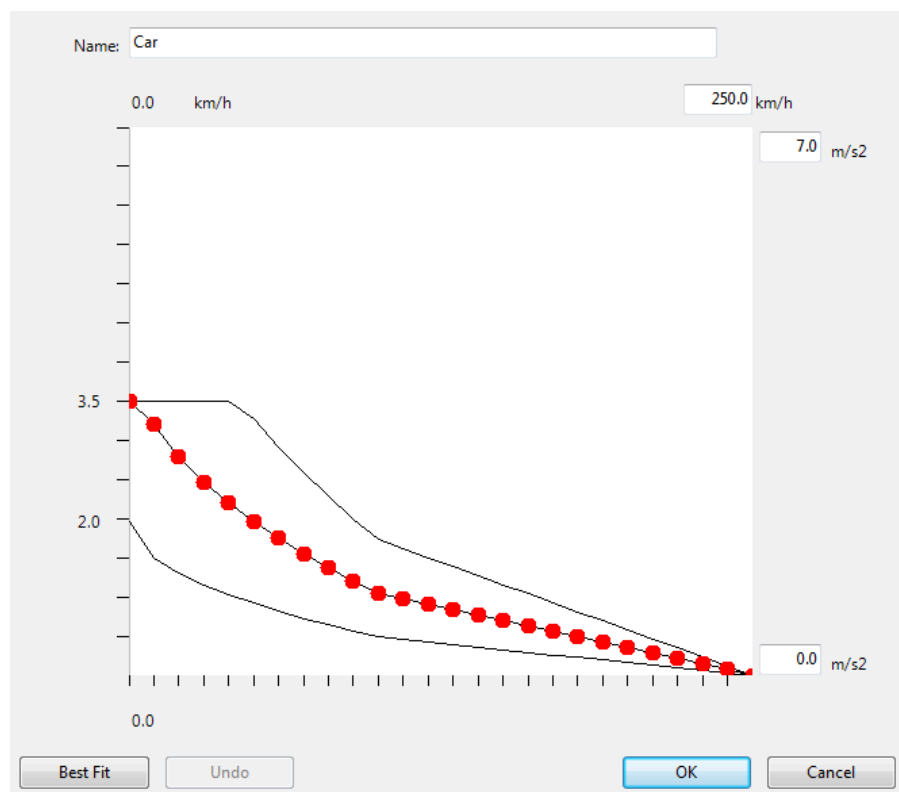
VISSIM umožňuje podobně, jako VISUM hierarchické dělení vozidel do tříd a typů. Typ vozidla je skupina vozidel s podobnými technickými vlastnostmi a fyzikálním modelem jízdy. Třída vozidla sdružuje jeden nebo více typů vozidel, jedna třída reprezentuje vozidla, které mají podobné chování řidiče, ale vlastnosti vozidla jsou různé (například autobusy veřejné dopravy mohou být odlišné svými rozměry, ale chování řidičů bude přibližně stejné, tudíž budou reprezentovány jednou třídou a více typy vozidel). Definice tříd a typů vozidel se provádí v menu base data pomocí položek *vehicle types* a *vehicle classes*.

The image shows a screenshot of the 'Static' dialog box in VISSIM. At the top, there are two input fields: 'No.: 100' and 'Name: Car'. Below these are four tabs: 'Static' (which is selected and highlighted with a dashed border), 'Functions & Distributions', 'Special', and 'External Driver Model'. The 'Static' tab contains several configuration fields: 'Category:' with a dropdown menu showing 'Car'; 'Vehicle Model:' with a dropdown menu showing '10 Car'; 'Length:' with a range from 4.11 to 4.76 m; 'Width:' with a value of 1.50 m; 'Occupancy:' with a value of 1.00; and 'Color:' with a dropdown menu showing '1 Default'. At the bottom of the dialog are two buttons: 'OK' and 'Cancel'.

Obrázek 6.7: Definice typu vozidla. Snímek obrazovky z VISSIM.

Pro každý typ vozidla je možné nastavit jeho fyzikální parametry, jako je funkce maximální, normální hodnoty zrychlení, také maximální a normální hodnoty zpomalení, VISSIM nepoživá pro tyto parametry konstantní hodnoty, ale funkce aktuální rychlosti. Nastavení těchto funkcí se provádí v menu base data, výběrem položky *functions*, kde zvolíme, kterou funkci budeme nastavovat. Je možné nastavit i parametry pro volbu parkovacího místa, kde volíme váhy, kterými se budou násobit vlastnosti parkovacího místa jako je jeho cena,

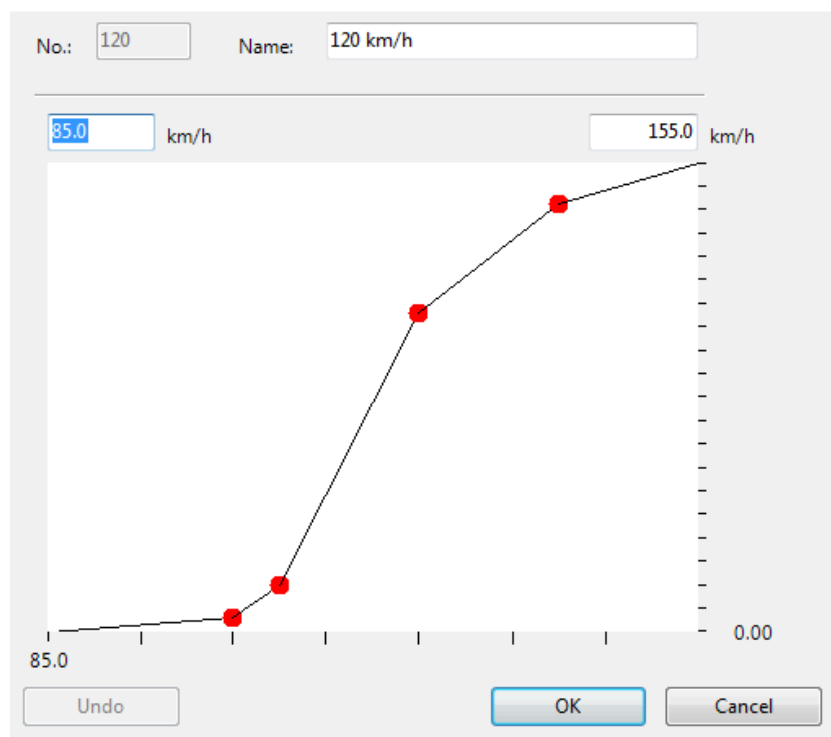
vzdálenost od cílového místa, vzdálenost od výchozí pozice a dostupnost parkovacího místa, výsledná hodnota je použita pro rozhodování o výběru parkovacího místa.



Obrázek 6.8: Dialog pro nastavení funkce zrychlení. Snímek obrazovky z VISSIM.

Na obrázku 6.8 je patrný dialog pro nastavení funkce zrychlení, graf je složen ze tří křivek, které znázorňují minimální, střední a maximální hodnotu zrychlení. Každou křivku lze editovat individuálně. Svislá osa znázorňuje hodnotu zrychlení a vodorovná osa aktuální rychlost. Rozsah hodnot os lze libovolně měnit. Výchozí hodnoty pro osobní vozy odpovídají mírně upravenému Wiedemannovu modelu, který je původem z roku 1974, ale hodnoty byly upraveny pro moderní automobily v roce 2004. Pro nákladní vozidla byly převzaty údaje z European research project CHAUFFEUR 2 z roku 1999. Pro autobusy a tramvaje byly křivky zrychlení a zpomalení podle Karlsruhe public transport company (VBK), 1995.

Pro každý typ vozidla je rovněž důležitým parametrem rozložení rychlosti, má vliv na kapacitu komunikace a na dosažené cestovní rychlosti. Stochastické distribuční funkce jsou definovány pro každý typ vozidla, lze je samozřejmě upravovat výběrem z menu *base data*, zvolením *distributions* a následně *desired speed*.



Obrázek 6.9: Distribuční funkce rozložení rychlosti 85 až 155 km/h. Snímek obrazovky z VISSIM.

Obrázek 6.9 vyobrazuje dialog pro nastavení distribuční funkce. Na vodorovné ose je rychlost v intervalu nastaveným v textových polích nad grafem a na svislé ose je kumulativní četnost. Obdobné nastavení lze provádět i pro rozložení hmotnosti a rozložení výkonu vozidla výběrem z menu *base data*, zvolením *distributions* a následně položku, kterou chceme nastavovat. Tyto nastavení mají vliv pro chování vozidel na svazích. Pro veřejnou dopravu lze definovat rozložení cestujících na dveře vozidla hromadné dopravy.

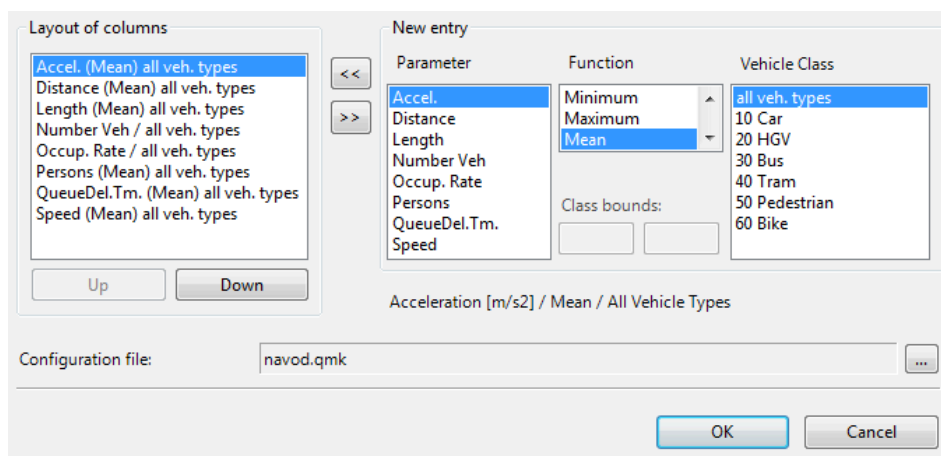
6.6 Výstupní data

VISSIM nabízí širokou škálu výstupních dat pocházejících z dopravní simulace. Tyto data mohou být uloženy v textových souborech (pro oddělení jednotlivých hodnot jsou použity středníky, což usnadňuje import dat do tabulkového kalkulátoru a případnou grafickou reprezentaci těchto dat), v databázi nebo zobrazené během simulace. Pro jednotlivé kategorie dat lze nastavit filtry výstupních dat. Ze simulací můžeme získat tato data:

- Cestovní dobu mezi dvěma doby dopravní sítě.
- Data o zpoždění vozidel v síti.
- Sběr dat o vozidlech na jednotlivých segmentech sítě (typ vozidla, rychlost, zrychlení, počet osob ve vozidle, délka vozidla, linka veřejné dopravy).
- Průměrná a maximální délka fronty, počet vozidel v rámci fronty.

- Kumulativní počet, průměrné doby trvání zelených a červených signálů na semaforech.
- Chronologický seznam všech změn signálů na semaforech (lze uložit pouze do databáze).
- Shromažďování dat v uživatelsky definovaných oblastech sítě (určeno zejména pro data pocházející z křižovatek, například Průměrná délka fronty před křižovatkou, doba zpoždění před průjezdem křižovatkou, emise CO, NO_x, počet vozidel přijíždějící ze směru, počet vozidel mířících směrem).
- Pozorovatel – ukládá veškeré informace o každém vozidle v každém časovém kroku do binárního souboru, vytváří extrémně velké soubory.
- Údaje o změně jízdních pruhů podle toho kdy a kde nastala.

Pro shromažďování dat o vozidlech je nutné definovat *data collection points*, to jsou body v dopravní síti, ve kterých se budou měřit požadované veličiny. Je možné definovat, pro jaký druh vozidel se budou data shromažďovat, jaká data se budou shromažďovat (rychlost vozidel, vzdálenost mezi vozidly, obsazenost vozidel, délka vozidel), dále je možné zvolit, zda shromažďovat maximální, minimální nebo střední hodnoty. Vybrané hodnoty budou uloženy do souboru s příponou *.mes* a pojmenovaném podle názvu projektu.



Obrázek 6.10: Nastavení shromažďování dat. Snímek obrazovky z VISSIM.

7 Zhodnocení

Výše popsané aplikace VISUM pro mesoskopické (případně makroskopické) a VISSIM pro mikroskopické modelování jsou vhodným nástrojem pro využití modelování dopravního zatížení. V rámci této diplomové práce byly vytvořeny modely, které počítají s jednosměrnou uzavírkou komunikace II/479 v úseku zvaném Svinovské mosty, ve směru z centra města do městské části Poruba. Na těchto modelech můžeme alespoň rámcově pozorovat, jaké má toto dopravní opatření vliv na objízdné trasy (ulice Rudná I/11 a dálnice D1), a také na ostatní významné komunikace v Ostravě Porubě a přilehlých městských obvodech. Pro demonstraci použití softwaru VISSIM byl vytvořen mikrosimulační model křižovatky ulic Muglinovská, Hlučínská a Sokolská.

Z důvodu neexistence vhodných vstupních dat, byly použity pouze data smyšlená. Pro modelování dopravního zatížení je nutné mít k dispozici správná data (v našem případě informace o počátečním a koncovém bodu cesty každého vozidla po dopravní síti). Pro oblast České Republiky jsou k dispozici pouze data o intenzitách automobilové dopravy, v jednotlivých bodech dálniční a silniční sítě ČR v roce 2010 a navazují na výsledky z předchozích sčítání dopravy (z let 2005 a starších), které shromažďuje Ředitelství silnic dálnic ČR.

Při použití reálných dat by mohly tyto modely být použity při návrhu dopravních opatření, které je nutno provést před uzavírkou (rozmístění dočasných světelné signalizace, úprava hlavních a vedlejších komunikací, atd.).

Při využití mikrosimulačních softwarů je třeba dbát důsledně na přesnost vstupních dat a rovněž provedení modelu dopravní sítě. Každá i malá nepřesnost může velmi významně ovlivnit výsledek.

8 Závěr

Tato diplomová shrnuje problematiku zabývající se modelováním a simulací dopravy. V kapitole 2 jsou popsány pojmy modelování a simulace a základní rozdíly mezi nimi. Popis jednotlivých matematických modelů použitých v této oblasti, a to jak v mikrosimulačním, tak makrosimulačním měřítku najdeme popsanou v kapitole 3.

Popis a porovnání jednotlivých aplikací pro modelování simulaci dopravy byl poskytnut v kapitole 4. Součástí této diplomové práce bylo také popsat postup práce s vybranými nástroji, v našem případě aplikace VISUM při vytváření modelu v makroskopickém měřítku a nástrojem VISSUM pro vytvoření simulace provozu křižovatky. Ukázka popisu vytváření modelu části města Ostravy a prezentaci výsledků při použití jednotlivých algoritmu přidělování dopravního toku. O těchto postupech pojednávají kapitoly 5 a 6.

Literatura

- [1] ING. KŘIVDA PH.D., Vladislav a Václav ING. ŠKVAIN. Městské komunikace a křižovatky: Modelování v dopravě. VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. VŠB - Technická univerzita Ostrava: Katedra dopravního stavitelství - Fakulta stavební [online]. 2011 [cit. 2013-01-07]. Dostupné z: <http://kds.vsb.cz/mkk/>
- [2] Trocha teorie - jak to funguje. ELTODO EG, a. s. *Dopravní simulace: ELTODO* [online]. 2005, 13. 09. 2005 [cit. 2013-01-07]. Dostupné z: <http://sim.eltodo.cz/teorie.html#second>
- [3] Dopravní modely. [online]. s. 80 [cit. 2013-01-17]. Dostupné z: stránky VUT Brno
- [4] WANG, Haizhong. *Stochastic modeling of the equilibrium speed-density relationship* [online]. 2010 [cit. 2013-01-17]. 3427575. Dostupné z: <http://www.scribd.com/doc/59861228/14/Underwood-exponential-model-1961>. Disertační práce. Graduate School of the University of Massachusetts. Vedoucí práce Richard N. Palmer.
- [5] V. MATHEW, Tom a K. V. Krishna RAO. *Introduction to Transportation Engineering* [online]. 2006 [cit. 2013-01-17]. Dostupné z: http://www.cdeep.iitb.ac.in/nptel/Civil%20Engineering/Transportation%20Engg%201/34-Ltexhtml/nptel_ceTEI_L34.pdf
- [6] C. GAZIS, Denos. *Traffic theory*. Breinigsville, PA USA: Kluwer Academic Publishers, 2009. 2. ISBN 1-4020-7095-0
- [7] *Comparison of Car-following models* [online]. Linköping Sweden, 2004 [cit. 2013-01-31]. ISSN 0347-6049. Dostupné z: <http://www.vti.se/sv/publikationer/pdf/jamforelse-av-car-followingmodeller.pdf>
- [8] HIGGS, Bryan, Montasir M. ABBAS, PH.D., P.E. a Alejandra MEDINA,. Analysis of the Wiedemann Car Following Model over Different Speeds using Naturalistic Data. [online]. 2011, s. 22 [cit. 2013-01-17]. Dostupné z: <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/conferences/2011/RSS/3/Higgs,B.pdf>
- [9] F.DAGANZO, Carlos. *In Traffic Flow, Cellular Automata = Kinematic Waves* [online]. 2004 [cit. 2013-01-17]. ISSN 0192 4095. Dostupné z: <http://www.its.berkeley.edu/publications/UCB/2004/RR/UCB-ITS-RR-2004-5.pdf>. Research report. Institute of Transportation Studies University of California at Berkeley.
- [10] TSS - TRANSPORT SIMULATION SYSTEMS. *TSS - Transport Simulation Systems: AIMSUN* [online]. 2013 [cit. 2013-01-31]. Dostupné z: <http://www.aimsun.com/wp/>
- [11] PTV GROUP. *VISUM 12 - User Manual*. Germany, 2011, 1626 s., 18.11.2011.

- [12] QUADSTONE PARAMICS. *Movies and Screenshots* [online]. 2013 [cit. 2013-01-31]. Dostupné z: <http://www.paramics-online.com>
- [13] AF-CITYPLAN. *Dopravní model ČR* [online]. 2010 [cit. 2013-03-05]. Dostupné z: <http://www.af-cityplan.cz/dopravni-model.html>
- [14] PTV GROUP. *VISSIM 5.40- User Manual*. Germany, 2011, 18.11.2011.
- [15] PTV GROUP. *PTV Group: VISUM* [online]. [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-visum/use-cases/>
- [16] MANNERING, Fred L, Scott S WASHBURN a Walter P KILARESKEI. *Principles of highway engineering and traffic analysis*. 4th ed. Hoboken, NJ: John Wiley, c2009, xiii, 398 p. ISBN 978-047-0290-750.
- [17] DYM, Clive L. *Principles of mathematical modeling*. 2nd ed. /. Boston: Elsevier Academic Press, c2004, xviii, 303 p. ISBN 01-222-6551-3.

Seznam příloh

1	Model Ostravy Poruby v aplikaci VISUM.....	na CD
2	Model konkrétní křižovatky v aplikaci VISSIM.....	na CD
3	Model smyšlené křižovatky v aplikaci VISSIM.....	na CD
4	Video zachycující konstrukci smyšlené křižovatky ve VISSIM.....	na CD
5	Snímky obrazovky ze softwaru VISUM.....	na CD
6	Snímky obrazovky z aplikace VISUM.....	na CD

